



**ITS**

Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 141584

# **PENGARUH VARIASI RASIO *ZINC - GRAPHITE* SEBAGAI PIGMEN PELAPISAN *EPOXY* PADA BAJA ASTM A36 TERHADAP KETAHANAN *FOULING* DI LINGKUNGAN *GEOTHERMAL***

FARIZ RIZA PRAYOGA  
NRP. 02511440000123

Dosen Pembimbing :  
Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng  
Wikan Jatimurti, ST., M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
Fakultas Teknologi Industri





TUGAS AKHIR - TL141584

**PENGARUH VARIASI RASIO ZINC -  
*GRAPHITE* SEBAGAI PIGMEN PELAPISAN  
*EPOXY* PADA BAJA ASTM A36  
TERHADAP KETAHANAN *FOULING* DI  
LINGKUNGAN *GEOTHERMAL***

FARIZ RIZA PRAYOGA  
NRP. 025 1144 0000 123

DOSEN PEMBIMBING :  
Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng  
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



FINAL PROJECT - TL141584

# **STUDY OF THE EFFECT ZINC - GRAPHITE RATIO AS PIGMENT OF EPOXY COATING ON STEEL ASTM A36 ON *FOULING* RESISTANCE IN GEOTHERMAL ENVIRONMENT**

FARIZ RIZA PRAYOGA  
NRP. 025 1144 0000 123

## **ADVISORS:**

Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng  
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc

Departement of Material Engineering  
Faculty of Industrial Technology  
Institute Technology of Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



*Laporan Tugas Akhir*  
*Departemen Teknik Material FTI-ITS*

---

**PENGARUH VARIASI RASIO ZINC – GRAPHITE  
SEBAGAI PIGMEN PELAPISAN EPOXY PADA BAJA  
ASTM A36 TERHADAP KETAHANAN FOULING DI  
LINGKUNGAN GEOTHERMAL**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada  
Bidang Studi Korosi dan Analisa Kegagalan  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Insititut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**FARIZ RIZA PRAYOGA**

**NRP. 02511440000123**

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

Dr. Agung Purnishan, S.T., M.Eng. .... (Pembimbing I)

Wikan Jatimartu, S.T., M.Sc. .... (Pembimbing II)





*(halaman ini sengaja dikosongkan)*





---

**PENGARUH VARIASI RASIO ZINC – GRAPHITE  
SEBAGAI PIGMEN PELAPISAN EPOXY PADA BAJA  
ASTM A36 TERHADAP KETAHANAN FOULING DI  
LINGKUNGAN GEOTHERMAL**

**Nama** : Fariz Riza Prayoga  
**NRP** : 02511440000123  
**Departemen** : Teknik Material  
**Dosen Pembimbing** : Dr.Agung Purniawan,S.T,M.Eng.  
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc

**ABSTRAK**

*Akumulasi deposit yang tidak diinginkan pada permukaan heat exchanger biasanya disebut sebagai fouling. Pengendapan garam pada dinding – dinding peralatan proses aliran fluida, terutama pada permukaan transfer panas dan permukaan alat alat evaporasi merupakan masalah serius yang dijumpai pada sebagian besar proses industri. Kalsium karbonat merupakan salah satu endapan penyusun kerak yang menjadi masalah serius pada sebagian besar proses industri yang melibatkan air garam. Salah satu perusahaan minyak di Indonesia menghabiskan biaya sekitar 6-7 juta dolar untuk mengganti pipa pada bagian geothermal tiap 10 tahun untuk menanggulangi masalah kerak. Untuk mengatasi masalah ini sejumlah metode kontrol endapan kerak telah diusulkan dan dilakukan. Pada penelitian kali ini, metode organic coating dilakukan untuk mengatasi permasalahan kerak pada substrat baja karbon ASTM A36 yang sering digunakan sebagai pipeline pada perusahaan geothermal maupun minyak dan gas. Proses sand blasting dilakukan sebelum coating diaplikasikan untuk menghasilkan kekasaran permukaan agar binder dapat melekat pada permukaan substrat. Binder yang digunakan pada penelitian kali ini adalah epoksi sebagai lapisan primer dan poliurethane sebagai lapisan akhir pada substrat. Pada lapisan akhir ditambahkan pigmen berupa zinc flake dan grafit, dengan perbandingan 0; 1:1; 3:1; 5:1. Proses immers dilakukan dalam*



larutan  $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$  pada temperature  $50^\circ \text{C}$  untuk memunculkan fouling  $\text{CaCO}_3$ . Pengujian yang dilakukan untuk analisa material coating ini berupa pengujian TGA, pull off test, pengujian bending, pengujian abrasif, potensiostat, XRD, dan pengujian morfologi berupa mikroskop optik dan SEM/EDX. Penambahan zinc:graphite pigmen dengan perbandingan 5:1 memiliki pengaruh yang paling baik dalam menghambat pertumbuhan fouling  $\text{CaCO}_3$ , dengan massa yang terdeposit hanya 0.05 mg dan memperkecil ukuran kristal fouling  $1.619 \mu\text{m}$ . Penambahan pigmen zinc:grafit dalam lapisan coating dapat memperbaiki kekuatan adhesi, ketahanan abrasi, meningkatkan sifat tahan korosi, dan meningkatkan sifat thermal dari lapisan coating.

**Kata Kunci :** Geothermal, Coating, Fouling, Zinc Flake, Grafit,



---

**STUDY OF THE EFFECT ZINC – GRAPHITE RATIO AS  
PIGMENT OF EPOXY COATING ON STEEL ASTM A36  
ON FOULING RESISTANCE IN GEOTHERMAL  
ENVIRONMENT**

**Name : Fariz Riza Prayoga**  
**NRP : 02511440000123**  
**Department : Teknik Material**  
**Advisors : Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng.**  
**Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc**

**ABSTRACT**

*The accumulation of unwanted deposits on the surface of the heat exchanger is called fouling. The occurrence of salt deposition on the walls of the fluid flow process equipment, especially on the surface of heat transfer and the surface of the evaporator is a serious problem encountered in most industrial processes. Calcium carbonate is one of the precipitating constituents of the fouling which is a serious problem in most industrial processes involving salt water. One oil company in Indonesia costs about \$ 6-7 million to replace the pipes on the geothermal section every 10 years to cope with the fouling problem. To solve this problem a number of fouling precipitation methods have been proposed and performed. In the present study, the method of organic coating has been done to overcome the problem of fouling on carbon steel substrate ASTM A36 which is often used as pipeline in geothermal company and oil and gas. The sand blasting process has been done before the coating is applied. Binders that use in this study are epoxy as the primary layer and polyurethane as the final layer on the substrate. In the final layer added pigments of zinc flake and graphite, with a ratio of 0: 1: 1; 3: 1; 5: 1. The immersing process is carried out in  $\text{NaHCO}_3 / \text{CaCl}_2$  solution at  $50^\circ\text{C}$  to give rise to  $\text{CaCO}_3$  fouling. Tests conducted for the analysis of this coating material in the form of TGA testing, pull off test, bending test, abrasive testing, potentiostat, XRD, and*



*morphological testing of optical microscopy and SEM / EDX. Addition of zinc: 5: 1 pigment graphite has the best effect in inhibiting the growth of  $\text{CaCO}_3$  fouling, with a deposited mass of only 0.05 mg and decreasing the crystallization size of 1,619  $\mu\text{m}$  of fouling. Addition of zinc:graphite pigment in coating layer can improve adhesion strength, abrasion resistance, improve corrosion resistance, and improve the thermal properties of the coating layer.*

**Keywords :** *Geothermal, Coating, Fouling, Zinc Flake, Grafit*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah S.W.T karena atas rahmat dan karuniaNya sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Pengaruh Variasi Rasio Zinc – Graphite sebagai Pigmen Pelapisan Epoxy pada Baja ASTM A36 terhadap Ketahanan Fouling di Lingkungan Geothermal”**.

Sholawat serta salam tidak lupa penulis haturkan kepada Rasulullah SAW, keluarga serta para sahabatnya yang senantiasa berjuang di jalan Allah S.W.T. selama melaksanakan dan menyelesaikan tugas akhir ini, penulis telah banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih pada :

1. Allah S.W.T atas rahmat dan karuniaNya
2. Orangtua, kakak, dan juga keluarga besar yang kerap mendukung secara moril dan materiil
3. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng, selaku dosen pembimbing I yang dengan sangat sabar memberikan bimbingan dan nasihat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc, selaku dosen pembimbing II yang senantiasa memberikan bimbingan, saran, dan masukan.
5. Bapak Larasanto, Bapak Dedi, serta seluruh karyawan CV. Cipta Agung yang telah memberikan banyak ilmu dan mengizinkan penulis untuk melakukan aplikasi *coating* dan pengujian di workshop.
6. Seluruh elemen Dosen serta Karyawan Departemen Teknik Material yang selalu mendukung mahasiswa untuk menuntut ilmu dengan memberikan pengajaran dan fasilitas terbaik



*Laporan Tugas Akhir*  
*Departemen Teknik Material FTI-ITS*

---

7. Rustin Winarsih sebagai partner dalam pengambilan topik Tugas Akhir ini
8. Teman teman Laboratorium Manufaktur
9. Imam, Amy, Eri, Aninur, dan Wiwin selaku teman seperjuangan dalam Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa
10. Seluruh keluarga besar Steering Commite yang telah banyak membantu penulis sebagai Koordinator
11. Keluarga HMMT dan MT16
12. Penghuni Kosan Kucing69 yang selalu menghadirkan canda tawa dikala penulis gundah gulana dalam mengerjakan Tugas Akhir ini
13. Sofia Ramadhani yang telah memberikan banyak bantuan dukungan kepada penulis
14. Gerry Prasetyo sebagai partner Kerja Praktik di Astra Honda Motor
15. Alm. Papa yang inshaAllah selalu memberikan doa kepada anak-anaknya untuk menyelesaikan pendidikan.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari Bahwa masih ada kekurangan. Penulis berharap pembaca dapat mengambil ilmu yang ada dan memberikan kritik dan/saran untuk perkembangan teknologi menjadi lebih baik.

Surabaya 2018

Fariz Riza Prayoga



---

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL.....</b>	<b>I</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN:.....</b>	<b>V</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>VII</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>XI</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>XIII</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>XV</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>XVIII</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 <i>Fouling</i> .....	5
2.2 Korosi Pada Lingkungan Geothermal .....	6
2.3 Kerak .....	9
2.4 Kalsium Karbonat.....	14
2.5 Metode Perlindungan Korosi.....	16
2.6 Mekanisme Proteksi oleh <i>Organic Coating</i> .....	18
2.7 Sistem Pelapisan Organik.....	21
2.8 Komponen <i>Organic Coating</i> .....	23
2.9 <i>Material Coating</i> .....	29
2.10 Zinc Flake.....	33
2.11 <i>Graphite</i> .....	35
2.12 <i>State Of The Art</i> (Penelitian Sebelumnya).....	35
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>39</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	39
3.2 Rancangan Penelitian .....	40
3.3 Alat Penelitian .....	41
3.4 Bahan Penelitian.....	46
3.5 Metode Penelitian.....	48
3.6 Prosedur Penelitian.....	49



*Laporan Tugas Akhir*  
*Departemen Teknik Material FTI-ITS*

---

<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>60</b>
4.1 Analisa Senyawa .....	60
4.2 Analisa Morfologi .....	63
4.3 Analisa Kekuatan <i>Coating</i> .....	70
4.4 Analisa Ketahanan <i>Coating</i> Terhadap <i>Fouling</i> .....	79
4.5 Analisa Pengujian Potensiodynamic .....	94
4.6 Analisa Thermal <i>Coating</i> .....	97
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>102</b>
5.1 Kesimpulan.....	102
5.2 Saran.....	102
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>XXI</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>XXVII</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>XLV</b>





---

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>shell</i> dan <i>tube boiler</i> yang terdapat <i>fouling</i> (Bott, 1995) .....	6
Gambar 2.2 Morfologi kalsium karbonat yang diamati dengan SEM (Suharso, 2012) .....	15
Gambar 2.3 Morfologi cacat blister pada <i>organic coating</i> (Liu, 2014). ..	19
Gambar 2.4 <i>Cross section</i> dari cat berpigmen zinc (Forsgren, 2017) ...	29
Gambar 2.5 Rantai Ikatan Kimia dari Epoksi (Koleske, 1995) .....	31
Gambar 2.6 Jenis Reaksi Isosianat. A. Reaksi Hidroksil; B. Reaksi Amino; C. Reaksi Kelembaman (Forsgren, 2006) .....	32
Gambar 2.7 hasil pengujian SEM setelah proses <i>immers</i> . (a) stainless steel; (b) <i>epoxy silicone coating</i> ; (c) <i>composite coating</i> ; (d) hasil perbesaran dari (c); (e) <i>stainless steel</i> ; (f) <i>composite coating</i> setelah proses <i>immers</i> (Wang,2011).....	36
Gambar 2.8 variasi <i>corrosion rate</i> dari Zn/Gr MMC (Afifi, 2014) .....	37
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	40
Gambar 3.2 Alat <i>Sand Blasting</i> .....	41
Gambar 3.3 <i>Roughness Meter</i> .....	42
Gambar 3.4 <i>Conventional Spray</i> .....	42
Gambar 3.5 <i>Comb Gauge</i> .....	43
Gambar 3.6 <i>Electronic Gauge</i> .....	43
Gambar 3.7 Neraca Analitik .....	44
Gambar 3.8 Alat Uji Adhesi.....	44
Gambar 3.9 Mikroskop Stereo .....	45
Gambar 3.10 Mikroskop Optik .....	45
Gambar 3.11 Thermostat.....	46
Gambar 3.12 Tingkat Kebersihan Sa 212 Hasil Sand Blasting .....	50
Gambar 3.13 Aplikasi <i>Coating</i> .....	51
Gambar 3.14 Pengujian DFT .....	52
Gambar 3.15 <i>Pull Off Test</i> .....	53
Gambar 3.16 Mesin Pengujian SEM/EDX .....	54
Gambar 3.17 Mesin Pengujian XRD.....	55
Gambar 3.18 Alat Pengujian Fleksibilitas.....	56
Gambar 3.19 Alat Pengujian <i>falling abrasive</i> .....	57

---



*Laporan Tugas Akhir*  
*Departemen Teknik Material FTI-ITS*

---

Gambar 3.20 Alat pengujian Potensiostat .....	58
Gambar 4.1 Hasil Pengujian XRD Pada Lapisan <i>Coating</i> Epoksi-Poliuretan Dengan Penambahan Pigmen Zinc dan Grafit .....	60
Gambar 4.2 Hasil <i>Elemental Mapping</i> SEM-EDX Lapisan <i>Coating</i> Zinc:Grafit Pada Sampel : (a) (0:0), (b) (1:1), (c) (3:1), (5:1).....	63
Gambar 4.3 Hasil <i>Abrasive Blasting</i> Pada Substrat ASTM A36 dengan Tingkat Kebersihan Sa 2½ (ISO 8501-1).....	64
Gambar 4.4 Hasil Pengujian Mikroskop Optik Dengan Perbesaran 20x Lapisan <i>Coating</i> Zinc:Grafit Pada Sampel : (a) (0:0), (b) (1:1), (c) (3:1), (5:1).....	65
Gambar 4.5 Hasil Pengujian SEM Dengan Perbesaran 750x Pada Lapisan <i>Coating</i> Zinc:Grafit <i>Cross Section</i> Pada Sampel : (a) (0:0), (b) (1:1), (c) (3:1), (d) (5:1). ....	67
Gambar 4.6 Hasil Pengujian SEM Tampak Atas Pada Lapisan <i>Coating</i> Zinc:Grafit 0:0 dan 1:1 dengan perbesaran : (a <sub>1</sub> )(b <sub>1</sub> ) 500x, (a <sub>2</sub> )(b <sub>2</sub> ) 2500x .....	68
Gambar 4.7 Hasil Pengujian SEM Tampak Atas Pada Lapisan <i>Coating</i> Zinc:Grafit 3:1 dan 5:1 dengan perbesaran : (c <sub>1</sub> )(d <sub>1</sub> ) 500x, (c <sub>2</sub> )(d <sub>2</sub> ) 2500x .....	69
Gambar 4.8 Grafik Nilai Daya Lekat Terhadap Penambahan Pigmen Zinc : Grafit.....	72
Gambar 4.9 Hasil Pengujian Fleksibilitas Secara Visual dan Mikroskop Dengan Perbesaran 32x Pada Lapisan <i>Coating</i> Zinc:Grafit Pada Sampel : (a) (0:0), (b) (1:1). ....	75
Gambar 4.10 Hasil Pengujian Fleksibilitas Secara Visual dan Mikroskop Dengan Perbesaran 32x Pada Lapisan <i>Coating</i> Zinc:Grafit Pada Sampel : (c) (3:1), (d) (5:1). ....	76
Gambar 4.11 Grafik Nilai Tebal Terabrasi Terhadap Penambahan Pigmen Grafit : Zinc.....	78
Gambar 4.12 Hasil pengujian XRD pada lapisan <i>coating</i> epoksi-poliuretan dengan penambahan pigmen zinc:grafit (0:0) .....	80
Gambar 4.13 Hasil pengujian XRD pada lapisan <i>coating</i> epoksi-poliuretan dengan penambahan pigmen zinc:grafit (1:1) .....	81

---



Gambar 4.14 Hasil pengujian XRD pada lapisan <i>coating</i> epoksi-poliuretan dengan penambahan pigmen zinc:grafit (3:1) .....	81
Gambar 4.15 Hasil pengujian XRD pada lapisan <i>coating</i> epoksi-poliuretan dengan penambahan pigmen zinc:grafit (5:1) .....	82
Gambar 4.16 Grafik penambahan massa hasil proses pencelupan dalam larutan $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$ .....	84
Gambar 4.17 Morfologi Makro Deposit <i>Fouling</i> Pada Lapisan <i>Coating</i> Zinc:Grafrit Permukaan Setelah Proses Pencelupan Dalam Larutan $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$ Pada Sampel : (a) (0:0), (b) (1:1), (c) (3:1), (5:1) .....	85
Gambar 4.18 Hasil Pengujian SEM Dengan Perbesaran 2500x Pada Lapisan <i>Coating</i> Zinc:Grafrit Permukaan Setelah Proses Pencelupan Dalam Larutan $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$ Pada Sampel : (a) (0:0), (b) (1:1), (c) (3:1), (5:1) .....	86
Gambar 4.19 Hasil Pengujian SEM Dengan Perbesaran 10000x Pada Lapisan <i>Coating</i> dengan Penambahan Pigmen. ....	88
Gambar 4.20 Grafik Nilai Daya Lekat Pasca Pencelupan dalam Larutan $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$ .....	90
Gambar 4.21 Skema Reaksi Yang Terjadi Pada Permukaan Zinc Partikel (Kalendova, 2003) .....	91
Gambar 4.22 Hasil Pengujian <i>Pull Off Test</i> Pada Lapisan <i>Coating</i> Zinc:Grafrit Pada Sampel : (a) (0:0), (b) (1:1), (3:1), (5:1) .....	94
Gambar 4.23 Hasil Pengujian Tafel Pada Lapisan <i>Coating</i> Zinc:Grafrit	95
Gambar 4.24 Grafik Kurva <i>Thermogravimetric Analysis</i> (TGA) dari Lapisan <i>Coating</i> Epoksi – Poliuretan dengan Variasi Penambahan Pigmen Zinc:grafit .....	98
Gambar 4.25 Grafik Kurva $T_{\text{onset}}$ pada Lapisan <i>Coating</i> Epoksi – Poliuretan dengan Variasi Penambahan Pigmen Zinc:grafit 0:0 .....	98
Gambar 4.26 Grafik Kurva $T_{\text{onset}}$ pada Lapisan <i>Coating</i> Epoksi – Poliuretan dengan Variasi Penambahan Pigmen Zinc:grafit 1:1 .....	99



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis Komponen Endapan Kerak (Sari, 2011) .....	11
Tabel 2.2 Klasifikasi Pengendapan Kerak (Siswoyo, 2005) .....	11
Tabel 2.3 Endapan Scale Yang Umum Terdapat di Lapangan Minyak (Sari, 2011) .....	13
Tabel 3.1 Rancangan Penelitian .....	40
Tabel 3.2 Komposisi Cat Epoksi Komponen A (Peguard Primer) .....	47
Tabel 3.3 Komposisi Cat Epoksi Komponen B (Peguard Primer) .....	47
Tabel 3.4 Komposisi cat polyurethane komponen A (Hardtop XP) .....	47
Tabel 3.5 Komposisi cat polyurethane Komponen B (Hardtop XP) .....	48
Tabel 4.1 Komposisi Lapisan <i>Coating</i> dengan Penambahan Pigmen Zinc:Grafrit (% wt) .....	61
Tabel 4.2 Nilai daya lekat terhadap variasi penambahan pigmen .....	70
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Fleksibilitas Pada 90 ° dan 180 ° .....	74
Tabel 4.4 Hasil pengujian <i>Abrasive Falling</i> .....	77
Tabel 4.5 Komposisi Lapisan <i>Coating</i> dengan Penambahan Pigmen Zinc:Grafrit pasca Pencelupan dalam Larutan (% wt) .....	79
Tabel 4.6 Data deposit massa hasil proses imers dalam larutan NaHCO <sub>3</sub> /CaCl <sub>2</sub> .....	83
Tabel 4.7 Nilai daya lekat terhadap variasi penambahan pigmen pasca pencelupan .....	89
Tabel 4.8 Parameter pengujian potensiodinamik .....	95
Tabel 4.9 Hasil Uji Potensiodinamik Lapisan <i>Coating</i> .....	96

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Masalah yang cukup serius yang dijumpai pada sebagian besar proses industri, yaitu terjadinya pengendapan garam pada dinding – dinding peralatan proses aliran fluida, terutama pada permukaan transfer panas dan permukaan alat alat evaporasi. Pengendapan ini tidak diharapkan karena penumpukannya menyebabkan timbulnya kerak yang dapat mengganggu transfer panas sehingga mengurangi efisiensi dan menghambat pengaliran pada proses aliran fluida. Disamping itu, kerak yang menumpuk pada pipa – pipa saluran, lubang – lubang dan beberapa bagian aliran pada proses aliran fluida dapat menyebabkan gangguan yang serius pada pengoprasian, karena penumpukan kerak ini dapat mengakibatkan terjadinya korosi dan kerusakan pada peralatan proses produksi. Pengerakan ini terjadi pada peralatan seperti water reservoir, boiler, heat exchanger, dan condenser (Jamaliahmadi, 2007).

Kerak adalah tumpukan keras dari bahan anorganik terutama pada permukaan perpindahan panas yang disebabkan oleh pengendapan partikel mineral dalam air. Seperti air menguap dalam menara pendingin, uap yang murni hilang dan konsentrasi padatan terlarut dalam air yang tersisa. Jika konsentrasi siklus ini dibiarkan berlanjut, berbagai kelarutan padat akhirnya akan terlampaui. Padatan kemudian akan menetap di dalam pipa atau pada permukaan panas, dimana ia sering membeku menjadi kerak (Bhatia, 2003).

Terbentuknya kerak pada pipa – pipa industry tersebut akan memperkecil diameter dan menghambat aliran fluida pada system pipa tersebut. Terganggunya aliran fluida ini akan menyebabkan suhu semakin naik dan tekanan semakin tinggi sehingga kemungkinan pipa akan pecah semakin tinggi (Asnawati, 2001).



Di dalam proses industri pergerakan merupakan permasalahan yang masih sangat memprihatinkan terutama pada sistem pendingin dan industri minyak bumi. Ini adalah alasan mengapa banyak penelitian masih dikembangkan untuk memahami fenomena kerak. Untuk tujuan ini beberapa metode telah dikembangkan untuk mempercepat terbentuknya kerak (Euvrand, 2004). Salah satu perusahaan minyak di Indonesia menghabiskan biaya sekitar 6-7 juta dolar untuk mengganti pipa pada bagian *geothermal* tiap 10 tahun untuk menanggulangi masalah kerak (Suharso, 2010)

Kalsium karbonat merupakan salah satu endapan penyusun kerak yang menjadi masalah serius pada sebagian besar proses industri yang melibatkan air garam. Untuk mengatasi masalah ini sejumlah metode control endapan kerak telah diusulkan dan dilakukan, yaitu dengan menurunkan pH larutan melalui penambahan asam atau water treatment. Namun penurunan pH larutan bukanlah solusi yang praktis karena asam dapat meningkatkan laju korosi sedangkan water treatment membutuhkan biaya yang cukup besar (Suharso, 2009).

Metode lainnya yang dapat digunakan adalah proteksi penghalang (*barrier protection*). Metode ini akan membuat permukaan logam menjadi terpisah dari lingkungan korosif. Biasanya metode ini diaplikasikan dalam bentuk lapisan *organic* (*organic coating*). Metode ini merupakan metode perlindungan yang paling banyak digunakan dikarenakan metode ini mudah untuk dilakukan (Keijman, 1999). Selain itu, usia pakai dari lapisan *organic* juga cukup panjang dimana biaya yang dibutuhkan menjadi lebih sedikit dibandingkan dengan metode lainnya. Di Amerika perlindungan korosi menggunakan *organic coating* sebesar 89,5% dan menghabiskan biaya \$108 billion per tahun (Ascoatindo, 2014)

*Organic* dan non *organic* pigmen seringkali ditambahkan pada *organic coating* untuk meningkatkan sifat tahan korosi, sifat tahan *fouling*, dan durability dari *organic coating* tersebut. Salah satu jenis pigmen tersebut ialah zinc dan graphite.

---

## BAB I PENDAHULUAN



Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh penambahan zinc dalam zinc – graphite terhadap kekuatan adhesi, ketahanan *fouling*  $\text{CaCO}_3$ , ketahanan korosi dan morfologi material *coating*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, permasalahan yang akan diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh penambahan Zinc dalam Zinc – graphite terhadap ketahanan *fouling*  $\text{CaCO}_3$  dari material *coating*?
2. Bagaimana pengaruh penambahan Zinc dalam Zinc – Graphite terhadap daya tekuk, ketahanan abrasif, daya lekat, ketahanan korosi dan morfologi dari material *coating*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam kegiatan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa pengaruh penambahan Zinc dalam Zinc – Graphite terhadap ketahanan *fouling*  $\text{CaCO}_3$  dari material *coating*.
2. Menganalisa pengaruh penambahan Zinc dalam Zinc – Graphite terhadap daya tekuk, ketahanan abrasif, daya lekat, ketahanan korosi dan morfologi dari material *coating*.

## 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah agar penelitian ini menjadi terarah adalah sebagai berikut :

1. Komposisi substrat (spesimen) dianggap homogen.
2. Ukuran partikel zinc dan ukuran partikel graphite dianggap homogen.



3. Tingkat kekasaran dan kebersihan substrat dianggap sama.
4. Kecepatan ketika mixing material *coating* dengan powder zinc – graphite dianggap sama, sehingga campuran dianggap homogen.
5. Ketebalan lapisan kering antara *base coat* dan *top coat* dianggap sama.

### 1.5 Manfaat penelitian

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Sebagai refrensi pengendalian korosi menggunakan *organic coating* pada baja karbon yang umum digunakan di dunia industri.
2. Dapat dijadikan sebagai refrensi mengenai penggunaan material *organic coating* terutama epoksi dengan penambahan powder zinc – graphite sebagai pigmen untuk meningkatkan daya lekat, ketahanan *fouling*  $\text{CaCO}_3$  dan ketahanan korosi.
3. Hasil penelitian ini dapat dijadikan informasi yang saling melengkapi dan komprehensif dengan hasil penelitian – penelitian sebelumnya terkait *organic coating*.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1     *Fouling***

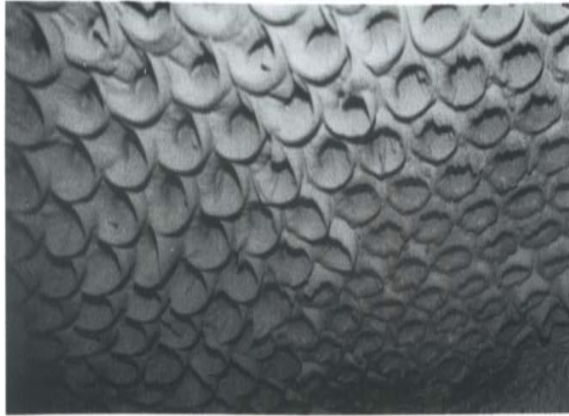
Akumulasi deposit yang tidak diinginkan pada permukaan *heat exchanger* biasanya disebut sebagai *fouling*. Kehadiran deposit ini merupakan hambatan terhadap perpindahan panas dan oleh karena itu mengurangi efisiensi *heat exchanger* tertentu. *fouling* bisa berupa kristal, bahan biologis, produk reaksi kimia termasuk korosi, atau partikulat. Karakter deposit tergantung pada cairan (cairan atau gas) yang melewati *heat exchanger*. Mungkin cairan massal itu sendiri yang menyebabkan masalah pembentukan deposit, mis. dekomposisi cairan organik di bawah kondisi suhu di dalam penukar panas. Jauh lebih sering, masalah *fouling* dihasilkan oleh beberapa bentuk kontaminan di dalam cairan, seringkali dengan konsentrasi sangat rendah, mis. partikel padat atau mikroorganisme. *Fouling* dapat terjadi akibat *liquid* yang digunakan dan konstituennya dikombinasikan dengan kondisi operasi seperti suhu dan kecepatan. Hampir semua bahan padat atau semi padat bisa menjadi alat pengubah panas, tapi beberapa bahan yang biasa ditemui dalam operasi industri adalah:

- *Inorganic material*
  - Debu dan pasir
  - Lumpur
  - Garam kalsium dan garam magnesium
  - Oksida besi
- *Organic material*
  - Zat biologis, mis. bakteri, jamur dan ganggang
  - Minyak, wax, dan lemak
  - Deposit organik mis. polimer, tars
  - Karbon

Gambar 2.1 adalah foto pelat tabung *shell* dan *tube heat exchanger* yang dikotori dengan partikel yang dihasilkan dari gas



buang suhu tinggi yang melewati tabung. Adanya endapan ini, biasanya bersifat kristalin yang berasal dari garam terlarut dalam air, menyebabkan temperatur permukaan tabung *boiler* mencapai tingkat berbahaya sehingga dapat terjadi kegagalan (Bott, 1995)



**Gambar 2.1** *shell dan tube boiler yang terdapat fouling* (Bott, 1995)

## 2.2 Korosi Pada Lingkungan Geothermal

Pemilihan material untuk pembangunan sumur geothermal dan instalasi cairan (cair, uap atau keduanya) merupakan salah satu faktor yang penting dalam rancangan awal skema pemanfaatan panas bumi yang diharapkan dapat digunakan untuk masa pakai yang lama. Sebagian besar cairan geothermal, bagaimanapun, tidak korosif dan casing utama dan pemilihan bahan pipa hanya menggunakan baja ringan. Ada masalah korosi lokal yang ditemukan di sebagian besar instalasi panas bumi, namun sebagian besar dapat ditangani dengan pemilihan, operasi dan perawatan material yang tepat (Gunnlaugsson, 2014)

Penggunaan material pipa pada *pipeline* di lapangan minyak bumi dan gas alam didominasi oleh pipa baja karbon. Pipa baja karbon memiliki banyak kelebihan, diantaranya adalah harganya yang ekonomis, mudah diaplikasi di lapangan dan sifat mekaniknya yang dapat diandalkan di lapangan. Adapun

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



pengoprasian pipa pada *pipeline* di lapangan minyak bumi dan gas alam membutuhkan proteksi pada permukaan eksternal pipa, karena pipa pada *pipeline* kerap terekspos lingkungan dan cenderung berinteraksi dengan lingkungan. Pada akhirnya, akan timbul korosi pada pipa *pipeline* (Rafferty, 1989).

Proses korosi terjadi bila ada reaksi setengah sel yang melepaskan electron dan reaksi setengah yang menerima elektron tersebut. Kedua reaksi ini akan terus berlangsung sampai terjadi kesetimbangan dinamis dimana jumlah elektron yang dilepas sama dengan jumlah elektron yang diterima. Adapun syarat – syarat dimana proses dapat terjadi :

1. Anoda, tempat terjadinya reaksi oksida dimana ion negative berkumpul.
2. Katoda, tempat terjadinya reaksi reduksi dimana ion positif berkumpul.
3. Media elektrolit, sebagai penghantar elektron antara katoda dan anoda. Bersifat menghantarkan listrik.
4. Adanya arus akibat pergerakan elektron.

Potensi cairan korosif pada lingkungan geotermal sangat bervariasi. Beberapa unsur atau senyawa utama dalam panas bumi yang menarik mengenai korosi adalah :

- Ion Hidrogen: Tingkat korosi pada sebagian besar bahan meningkat seiring pH cairan turun. Air suhu rendah geothermal biasanya memiliki pH tinggi (pH 8-10) dan cairan suhu tinggi mendekati netral (pH 6-8) namun perairan ekstrem ada dengan pH serendah 2 dan setinggi 12. Air pH rendah mengeras baja karbon dan menyebabkan korosi retak pada baja tahan karat. Dengan demikian bahan yang paling umum dipilih untuk casing, pipa dan bejana yang kontak dengan cairan geotermal hanyalah baja ringan.
- Klorida: ion klorida mempercepat korosi permukaan logam. Korosi sering terjadi di daerah lokal yang disebut "*pitting*" serta korosi seragam. Banyak *grade* dari baja tahan karat yang rentan terhadap retak korosi



saat terkena air yang tinggi dengan kandungan klorida dan oksigen.

- Hidrogen sulfide: Tembaga dan paduannya rentan terhadap hidrogen sulfida. *Stress cracking* akibat sulfida pada baja dengan kekuatan tinggi merupakan masalah potensial dalam panas bumi dan penggunaan baja ini harus diminimalkan dan baja ringan digunakan sebagai gantinya. Hidrogen Sulfida bereaksi dengan baja ringan dan membentuk lapisan produktif dan mungkin merupakan kerak tipis penskalaan dan dengan demikian melindungi bagian dalam pipa dan bejana.
- Oksigen biasanya tidak ada dalam cairan geothermal kecuali pada cairan pada suhu rendah. Oleh karena itu, korosi akibat oksigen jarang ditemukan di sumur panas bumi namun intrusi atau difusi jejak oksigen ke dalam fluida panas bumi saat mengalir melalui instalasi panas bumi dapat membuat air sangat korosif. Hidrogen sulfida dalam air panas bumi akan bereaksi dengan oksigen dan mencegah korosi asalkan hanya ditemukan dalam fasa larutan.

Beberapa jenis *scale* diamati di sumur geothermal dan instalasi. Ini termasuk mineral karbonat (kalsit dan aragonit), silikat amorf, dan oksida logam dan sulfida. *Scale* pada lingkungan geotermal yang paling umum adalah silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ). Kedua kerak ini berwarna putih dan secara visual tidak mudah untuk membedakannya. Kerak silika sering tampak abu-abu atau hitam karena sejumlah kecil besi sulfida, produk korosi ditemukan di dalam semua jaringan pipa panas bumi. Metode cepat untuk membedakan keduanya adalah dengan meletakkan setetes asam hidroklorida pada sampel skala dan jika gelembung terbentuk, itu adalah kalsit (Gunnlaugsson, 2014).

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



---

## **2.3 Kerak**

### **2.3.1 Mekanisme Pembentukan Kerak**

Kerak merupakan endapan yang terbentuk dari proses kristalisasi dan pengendapan mineral yang terkandung dalam suatu zat. Pembentukan kerak biasanya terjadi di bidang-bidang yang bersentuhan secara langsung dengan suatu fluida selama proses produksi, seperti alat penukar panas (*heat exchangers*), rangkaian pompa dalam sumur (*downhole pump*), pipa produksi, pipa selubung, pipa alir, serta peralatan produksi lainnya.

Pembentukan kerak pada system perpipaan baik yang ada di industri maupun di rumah tangga masih banyak mengakibatkan permasalahan, baik masalah teknis maupun ekonomis. Hal ini disebabkan karena adanya endapan kerak yang menghambat aliran fluida yang mengalir di dalam pipa dan juga menghambat proses perpindahan panas pada alat penukar panas (*heat exchangers*). Sehingga kerak yang terbentuk di dalam pipa akan memperkecil diameter pipa dan menghambat aliran fluida pada system perpipaan.

Adanya endapan kerak pada komponen-komponen tersebut, dapat mengakibatkan aliran fluida terhambat baik dalam pipa maupun alat *heat exchanger*. Pada *heat exchanger*, endapan-endapan kerak tersebut, mengganggu transfer panas sehingga menyebabkan panas akan semakin meningkat. Sedangkan pada pipa-pipa, penyumbatan aliran fluida akan terjadi karena adanya penyempitan volume alir fluida serta penambahan kekasaran permukaan pipa bagian dalam (Raharjo, 2016).

### **2.3.2 Faktor - Faktor Pembentukan Kerak**

Faktor utama yang sangat berpengaruh terhadap pembentukan dan pertumbuhan kristal kerak serta pengendapan kerak antara lain adalah perubahan kondisi reservoir, penurunan tekanan reservoir dan perubahan temperature, pencampuran dua jenis air yang mempunyai susunan mineral tidak sesuai, adanya supersaturasi, penguapan akibat perubahan konsentrasi, pengadukan (agitasi, pengaruh dari turbulensi), waktu kontak



antara padatan dengan permukaan media pengendapan serta perubahan pH air (Antony, 2011).

Faktor yang mendukung pembentukan dan pengendapan kerak antara lain adalah sebagai berikut :

- Air mengandung ion-ion yang memiliki kecenderungan untuk membentuk senyawa-senyawa yang mempunyai angka kelarutan rendah.
- Adanya perubahan kondisi fisik atau komposisi air yang akan menurunkan kelarutan lebih rendah dari konsentrasi yang ada.
- Kenaikan temperatur akan menyebabkan terjadinya proses penguapan, sehingga akan terjadi perubahan kelarutan.
- Air formasi yang mempunyai derajat keasaman (pH) besar akan mempercepat terbentuknya endapan kerak
- Pengendapan kerak akan meningkat dengan lamanya waktu kontak dan ini akan mengarah pada pembentukan kerak yang lebih padat dan keras.

### 2.3.3 Jenis - Jenis Kerak

Ion yang berbentuk padatan dan mempunyai kecenderungan untuk membentuk endapan kerak antara lain adalah kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), gypsum atau kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), dan barium sulfat ( $\text{BaSO}_4$ ). Endapan kerak yang lain adalah stronsium sulfat ( $\text{SrSO}_4$ ) yang mempunyai intensitas pembentukan rendah dan kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ), yang biasa terbentuk pada peralatan pemanas yaitu boiler dan heater trater, serta kerak dengan komponen besi, seperti *iron carbonate* ( $\text{FeCO}_3$ ), *iron sulfide* ( $\text{FeS}$ ) dan *iron oxide* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), seperti yang terlihat pada tabel 2.1 (Sari, 2011).

Kerak dapat dikenali dengan mengklasifikasikannya berdasarkan komposisi yang membentuk kerak dan jenis pengendapannya. Berdasarkan komposisinya, secara umum kerak dibedakan menjadi kerak sulfat, kerak sulfat, serta campuran dari keduanya. Sedangkan berdasarkan jenis pengendapannya, klasifikasi kerak dapat dilihat pada tabel 2.2 (Siswoyo, 2005).

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



**Tabel 2.1** Jenis Komponen Endapan Kerak (Sari, 2011)

Nama Kimia	Rumus Kimia	Nama Mineral
Natrium chloride	NaCl	Halite
Calcium carbonat	CaCO <sub>3</sub>	calcite
Iron carbonat	FeCO <sub>3</sub>	Siderite
Iron sulfide	FeS <sub>7</sub>	Trolite
Iron oxide	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Hematite
Iron oxide	Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Magnetit
Magnesium hydroxide	Mg(OH) <sub>2</sub>	Brucite
Calcium sulfate	CaSO <sub>4</sub>	Anhydrate
Calcium sulfate	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	Gypsum

**Tabel 2.2** Klasifikasi Pengendapan Kerak (Siswoyo, 2005)

Jenis	Sifat Utama	Komponen	Reaksi Kimia
Hard scale	Umumnya berwarna terang, dan apabila terdapat pengotor (minyak atau oksida besi) akan menjadi	BaSO <sub>4</sub> , SrSO <sub>4</sub> , CaSO <sub>4</sub> , dan 2H <sub>2</sub> O	$\text{BaCl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{BaSO}_4\downarrow + 2\text{NaCl}$ $\text{SrCl}_2 + \text{CaSO}_4 \rightarrow \text{SrSO}_4\downarrow + \text{CaCl}_2$



	agak gelap. Hamper tidak larut dalam asam		
Soft scal e	Umumnya terang atau agak gelap (jika mengandung pengotor) larutan dalam asam mengandung CO <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub> dengan kandungan MgCO <sub>3</sub> , FeCO <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> , CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O, FeS dan S	$Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3 \downarrow + CO_2 + H_2O$
Mis c	Tidak mudah larut dalam asam mengandung H <sub>2</sub> S berwarna coklat tua sampai hitam	FeS, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O, S	$Fe + H_2S \rightarrow FeS \downarrow + H$ $Fe_2O_3 + 3H_2S \rightarrow 2FeS_3 \downarrow + 3H_2O + S$ $2Fe_2O_3 + 6H_2S \rightarrow 2FeS_3 \downarrow + 6H_2O$ $2Fe_2S_3 + 3O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3 \downarrow + 6S$ $6H_2S + 3O_2 \rightarrow 6H_2O + 6S \downarrow$

Dari sekian banyak jenis kerak yang dapat terbentuk, hanya sebagian kecil yang seringkali dijumpai pada industry perminyakan tabel 2.3 menunjukkan jenis-jenis kerak yang umum terdapat dilapangan.

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA





**Tabel 2.3** Endapan Scale Yang Umum Terdapat di Lapangan Minyak (Sari, 2011)

Jenis Scale	Rumus Kimia	Faktor yang Berpengaruh
Kalsium Karbonat (kalsit)	$\text{CaCO}_3$	<ul style="list-style-type: none"><li>• Penurunan tekanan (<math>\text{CO}_2</math>)</li><li>• Perubahan Temperatur</li><li>• Kandungan garam terlarut</li><li>• Perubahan Keasaman (pH)</li></ul>
Kalsium Sulfat Gypsum (sering) Hemi-Hydrate Anhydrate	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ $\text{CaSO}_4$	<ul style="list-style-type: none"><li>• Perubahan tekanan dan Temperatur</li><li>• Kandungan garam terlarut</li></ul>
Barium Sulfat Strontium Sulfat	$\text{BaSO}_4$ $\text{SrSO}_4$	<ul style="list-style-type: none"><li>• Perubahan tekanan dan Temperatur</li><li>• Kandungan garam terlarut</li></ul>
Komponen Besi Besi Karbonat Sulfida Besi Ferrous Hydroxide Ferric Hydroxide Oksida Besi	$\text{FeCO}_3$ $\text{FeS}$ $\text{Fe}(\text{OH})_2$ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ $\text{Fe}_2\text{O}_3$	<ul style="list-style-type: none"><li>• Korosi</li><li>• Kandungan gas terlarut</li><li>• Derajat keasaman (pH)</li></ul>



## 2.4 Kalsium Karbonat

Kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) merupakan padatan putih yang hanya sedikit larut dalam air. Kalsium karbonat terurai bila dipanaskan menghasilkan kalsium oksida (kapur tohor) dan karbon dioksida. Senyawa ini dijumpai di alam sebagai mineral kalsit dan aragonit. Kalsit merupakan bentuk  $\text{CaCO}_3$  yang lebih lazim, dapat dibedakan dengan aragonite berdasarkan kekerasan dan bobot jenisnya. Aragonite terbentuk pada tekanan yang lebih tinggi, dan tidak stabil pada kondisi-kondisinya. Bahkan aragonite didapati sebagai endapan utama. Lambat laun, aragonite akan mengalami rekristalisasi menjadi kalsit.

Kalsit merupakan salah satu mineral kalsium karbonat yang mengkristal dalam system rombohedral, biasanya tidak berwarna atau berwarna putih dan mempunyai kekerasan 3 pada sekala mohs dengan massa jenis 2,71. Kalsit adalah mineral pembentuk batuan dan merupakan penyusun utama dalam batu gamping, marmer, dan karbonatit. Aragonite merupakan mineral anhidrat pembentuk batuan kalsium karbonat, yang mengkristal dalam system rombus dengan massa jenis 2,93 dan mempunyai kekerasan 3,5 – 4 pada skala Mohs. Aragonite biasanya berwarna putih atau tidak berwarna bila murni, tetapi jika ada bahan asing dapat bercorak kelabu, biru, hijau, atau merah muda. Aragonite terjadi sebagai endapan di dalam gua kapur, di sekitar sumber air panas dan geyser.

Sebagaimana disebutkan sebelumnya, kalsit dan aragonite adalah dua bentuk mineral dengan komposisi kimia yang sama yaitu  $\text{CaCO}_3$ . Pada struktur-struktur atomnya, dengan semua karbonat paling kuat, ikatan kovalen parsial terjadi diantara atom karbon dan tiga oksigen tetangga terdekatnya. Setiap kompleks anion ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) mengikat secara ionic dengan dua kation  $\text{Ca}^{2+}$  pada kalsit dan tiga kation  $\text{Ca}^{2+}$  pada aragonite. Hasil geometri unit sel kalsit adalah rombohedral dan aragonite adalah ortorombik (Suharso, 2012)

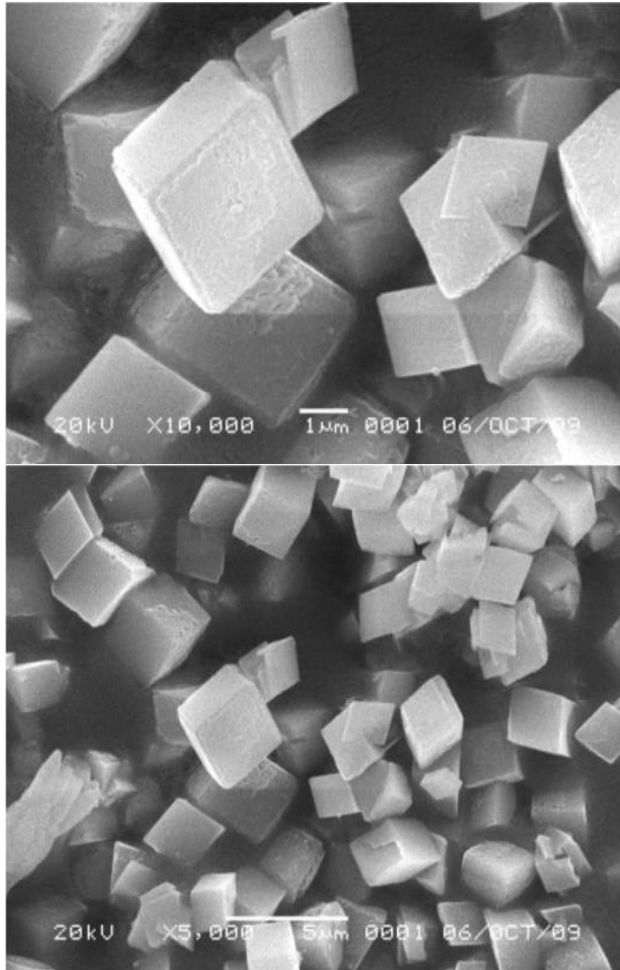
Kerak kalsium karbonat (dalam bentuk kristal kalsit atau aragonit) biasa ditemukan di sumur dengan suhu reservoir 140-240

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



° C, dan terutama ditemukan pada kedalaman tempat air mulai mendidih di dalam sumur. Flashing menyebabkan pengupasan CO<sub>2</sub> dan kenaikan pH, yang dapat menyebabkan deposisi kalsit.



**Gambar 2.2** Morfologi kalsium karbonat yang diamati dengan SEM (Suharso, 2012)



---

## 2.5 Metode Perlindungan Korosi

### 2.5.1 Proteksi Katodik

Pemberian arus searah (DC) dari sumber eksternal. Arus DC akan memberikan electron untuk mencegah ionisasi logam menjadi electron bebas yang menyebabkan logam tersebut mudah bereaksi (Roberge, 2008). Metode-metode proteksi katodik, antara lain adalah:

1. Anoda korban (*sacrifice anode*)

Prinsip yang digunakan dalam metode ini adalah sistem galvanic, dimana logam yang akan dilindungi dihubungkan secara elektrik dengan logam yang bersifat lebih anodic (potensial standarnya lebih kecil) dan sesuai dengan deret galvanic. Dengan demikian logam yang akan dilindungi bersifat sebagai katoda dan logam lainnya akan menjadi anoda. Akibatnya, anoda korban akan terus-menerus terkorosi sehingga harus diganti secara berkala.

2. Arus Paksa (*Impressed Current*)

Metode arus paksa diaplikasikan dengan memberikan arus listrik searah dari sumber luar untuk melindungi struktur logam. Proses ini menggunakan penyearah yang disebut rectifier, dimana kutub negatif dihubungkan ke logam yang akan dilindungi, dan kutub positif dihubungkan ke anoda. Pada prinsipnya, metode ini dilakukan dengan memberikan suplai electron kepada struktur yang akan diproteksi secara katodik agar tidak terjadi kebocoran electron. Anoda yang digunakan biasanya adalah anoda inert yang stabil agar tidak mudah terkontaminasi oleh lingkungan.

### 2.5.2 Lapisan Pelindung (*Coating*)

*Coating* merupakan proses pelapisan permukaan logam dengan cairan atau sebuk, yang akan melekat secara kontinu pada logam yang akan dilindungi, tentunya setelah melalui proses solidifikasi. Proses pelapisan ini akan mengurangi intensitas logam untuk mengalami kontak dengan lingkungannya. Pelapisan yang



paling umum digunakan adalah pelapisan menggunakan cat (Roberge, 2008). *Coating* dapat dibedakan berdasarkan bahan pelindungnya seperti polimer (organik dan anorganik), keramik, dan metal dan cara aplikasi seperti *electroplating*, *cladding*, *hotdip coating*, *liquid coating* atau *protective coating*.

Jenis *coating* yang diaplikasikan untuk pipa cukup banyak dan bervariasi. Aplikasi jenis *coating*nya pun bergantung pada permukaan pipa yang akan dilindungi. Pipa memiliki 2 permukaan (*surface*), yakni internal dan eksternal. Adapun sistem *coating* pada *pipeline* terbagi menjadi 2 macam berdasarkan jenis permukaannya (*surface*), yakni internal dan eksternal *surface*. Penggunaan *coating* untuk eksternal *surface* dikondisikan dari penempatan pipa suatu sistem. Adapun beberapa kondisi tertentu yang menggunakan eksternal *surface* adalah :

1. *Buried Steel Facilities* : korosi pada pipa yang dipasang di dalam tanah.
2. *Atmospheric Corrosion* : korosi yang terjadi karena pipa berada di lingkungan atmosferik.
3. *Tide* : korosi yang terjadi karena pipa berada pada daerah air laut.
4. *Other materials* : korosi yang terjadi karena pipa berkorosi yang terjadi karena pipa berada di lingkungan yang sangat korosif, contohnya splash zone.

### 2.5.3 Pemilihan Material

Prinsip dasar metode pemilihan material adalah memilih material sesuai dengan kondisi lingkungan dimana material tersebut digunakan. Metode ini berhubungan dengan potensial galvanik dari logam yang digunakan.

### 2.5.4 Inhibitor

Inhibitor adalah zat yang ditambahkan dalam jumlah yang relatif kecil, berkisar 10-80 ppm ke dalam lingkungan korosif



sehingga mengubah mekanisme reaksi lingkungan dan menurunkan laju korosinya. Inhibitor memiliki mekanisme kerja secara umum yaitu (Roberge, 2008)

- Inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam dan membentuk suatu lapisan tipis dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor.
- Inhibitor mengendap pada lingkungan dan selanjutnya teradsorpsi pada permukaan logam serta melindunginya terhadap korosi.
- Inhibitor lebih dahulu mengkorosi logam logamnya dan menghasilkan suatu zat kimia dan mengalami adsorpsi dari produk korosi untuk membentuk lapisan pasif pada permukaan.
- Inhibitor menghilangkan konstituen yang agresif dari lingkungan.

## **2.6 Mekanisme Proteksi oleh *Organic Coating***

Dari fungsinya sebagai penghalang antara lingkungan dengan substrat agar tidak terjadinya kontak dan berakibat adanya reaksi kimia. Pada perannya tersebut *protective coating* memiliki mekanisme proteksi yaitu sebagai lapisan penghalang, lapisan inhibisi, dan proteksi katodik.

### **2.6.1 lapisan Penghalang (*Barrier coating*)**

Lapisan berfungsi sebagai penghalang antara permukaan material dengan lingkungan. Lapisan penghalang ini berfungsi untuk mencegah pembentukan elektrolit pada *interface* lapisan/permukaan dan menghalangi molekul oksigen untuk berdepolarisasi. Penetrasi air dan oksigen ke dalam permukaan akan menjadi tidak signifikan ketika tidak adanya ion pada permukaan. Pada dasarnya hampir semua lapisan perlindungan

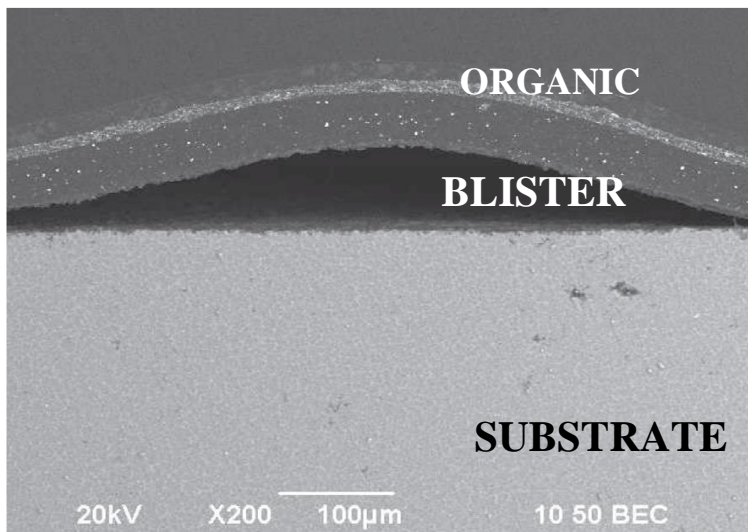
---

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**



korosi logam dengan membentuk penghalang antara logam dan elektrolit dalam lingkungan. Penetrasi kebanyakan film oleh air dan oksigen relative cepat, tetapi penetrasi larutan garam (ion) relative lambat. Dengan demikian, lapisan penghalang dapat memberikan pengendalian korosi selama beberapa tahun. Sebenarnya lapisan ini memberikan perlindungan penghalang tergantung pada:

- Sifat permeabilitasnya
- Jumlah dan jenis penambahan pigmen dan aditif
- Ketebalan lapisan
- Kualitas formulasi lapisan
- Kebersihan saat persiapan permukaan
- Keretakan lapisan dengan substrat
- Tingkat korosifitas lingkungan



**Gambar 2.3** Morfologi cacat blister pada *organic coating* (Liu, 2014)



Tidak ada lapisan organik benar-benar impermeable terhadap elektrolit namun, beberapa lapisan penghalang seperti epoksi melakukan fungsi ini sangat baik, terutama jika permukaan logam bebas dan tidak ada garam yang larut dalam lapisan film. Epoksi dengan pelarut minyak memiliki permeabiliti yang baik. Epoksi pada daerah immers yang memiliki perbedaan konsentrasi ionic antara bagian luar *coating* (*coating* dengan lingkungan) dan bagian dalam *coating* (*coating* dengan substrat), hal ini yang membuat migrasi air melewati lapisan *coating* dan memicu terjadinya *blistering*.

### 2.6.2 Lapisan Inhibisi

Lapisan inhibisi berfungsi untuk memperlambat raksi yang terjadi pada anoda, katoda, ataupun pada keduanya. Supaya lebih efektif, lapisan inhibisi harus menempel langsung pada permukaan material. Untuk terbentuknya lapisan inhibisi, maka lapisan harus ditambahkan senyawa kimia yang berfungsi untuk menghalangi reaksi yang terjadi pada permukaan material. Selain itu, agar terbentuk lapisan inhibisi juga diperlukan sedikit kelembaban dan pigmen. Pigmen ini nantinya akan mempasifasi permukaan material dengan membentuk lapisan tipis yang melekat dengan kuat pada permukaan.

### 2.6.3 Proteksi Katodik (*Sacrifacial*)

Baja yang direndam dalam elektrolit dapat dilindungi oleh anoda korban yang terpasang pada struktur. Ini tidak akan bekerja di atmosfer, karena tidak ada kontak elektrolitik antara anoda dan baja. Metode ini menggunakan material yang lebih *anodic* dibanding material yang ingin dilindungi. Proteksi katodik ini biasanya mengandung zinc sebagai pigmen utamanya dan memiliki pembebanan minimum dari zinc agar lebih efektif. Ketika

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA





material terekspos di lingkungan korosif, lapisan ini akan melindungi material dengan menjadi anoda korban. Metode ini hanya efektif untuk digunakan pada lapisan primer dikarenakan zinc harus bereaksi dengan logam agar terbentuk lapisan proteksi.

## 2.7 Sistem Pelapisan Organik

Penggunaan *organic coating* atau metal barrier coating antara lingkungan yang agresif dengan material pasti telah menjadi metode yang paling banyak digunakan untuk melindungi material. Ada tiga kelas umum pelapis: lapisan organik, anorganik, dan metalik. Namun, pelapis pelindung sering mengacu pada sistem multifungsi terpadu yang dapat menggabungkan lebih dari satu jenis pelapis.

Lapisan organik melindungi lebih banyak logam berdasarkan berat daripada cara lain untuk melindungi korosi. Selain memberikan perlindungan dengan menciptakan penghalang fisik antara logam dan lingkungan, lapisan ini mungkin juga mengandung inhibitor korosi atau zat aditif lainnya untuk menahan proses korosi. Lapisan organik meliputi cat, resin, *lacquers*, dan *varnishes*.

Beberapa pertimbangan penting untuk merancang pelapis tahan korosi meliputi perlindungan lapisan, perancangan komponen, fungsi komponen, dan formulasi pelapis. Banyak lapisan mengandung sebanyak 15 sampai 20 bahan dengan rentang fungsionalitasnya sendiri. Beberapa variabel utama yang digunakan untuk merancang lapisan pelindung korosi adalah

- Impermeabilitas: Lapisan kedap yang ideal harus benar-benar tidak terpengaruh oleh lingkungan spesifik yang dirancang untuk diblok, apakah itu kelembaban, air, atau air yang paling umum, agen korosif lainnya seperti gas, ion, atau elektron.



Lapisan tersebut harus memiliki konstanta dielektrik tinggi dan juga memiliki adhesi yang sempurna pada permukaan yang mendasari untuk menghindari terkena zat korosif.

- Penghambatan: Berbeda dengan pelapis yang dikembangkan berdasarkan impermeabilitas, lapisan penghambat berfungsi dengan mereaksikan dengan lingkungan tertentu untuk menyediakan film pelindung atau penghalang pada permukaan logam.
- Pigmen pelindung katodik: Seperti penghambatan, perlindungan katodik pada pelapis sebagian besar diberikan oleh aditif pada primer. Fungsi utama aditif ini adalah menggeser potensi lingkungan menjadi potensi katodik yang tidak korosif. Primer berbasis anorganik merupakan contoh bagus dari konsep ini.

Untuk situasi korosi yang serius, pendekatan sistem pelapisan (*primer*, *intermediate coat*, dan *top coat*) menyediakan semua bahan untuk solusi jangka panjang.

### 2.7.1 Primer Coat

Istilah "primer" menyiratkan lapisan yang pertama kali diterapkan pada substrat karena memiliki afinitas perekat tunggal untuknya dan / atau karena ia memberikan adhesi yang lebih baik untuk coat berikutnya daripada coat berikutnya yang bisa dicapai jika diterapkan secara langsung. Primer juga berfungsi sebagai pembawa untuk inhibitor atau untuk pemuatan logam anodik seperti seng. Dalam penggunaan modern dan untuk banyak aplikasi, primer biasanya adalah film tipis (75  $\mu\text{m}$  atau kurang), dan dapat digunakan pada permukaan logam dan kayu.

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



### **2.7.2 Intermediate Coat**

Lapisan ini merupakan lapisan yang ditambahkan setelah lapisan primer untuk menambah ketahanan korosi pada logam. Dimana dengan semakin tebal lapisan yang diaplikasikan pada logam diharapkan ketahanan korosi akan semakin meningkat dikarenakan sulitnya korosi untuk menyerang logam dengan banyaknya penghalang yang berupa lapisan. Dalam sistem pelapisan, lapisan menengah adalah lapisan yang memiliki ketebalan paling tinggi dibandingkan lapisan lainnya. Lapisan menengah juga harus memiliki sifat-sifat diantara lain ialah:

1. Memberikan lapisan yang cukup memadai pada sistem.
2. Mengikat secara merata antara lapisan primer dan lapisan atas.
3. Cukup kuat memproteksi pengaruh lingkungan.

### **2.7.3 Top Coat**

Sebuah top coat mungkin diperlukan untuk memperpanjang umur voat sebelumnya. Bila dirancang sebagai lapisan, film ini biasanya lebih padat dan hidrofobik dibandingkan dengan sisa sistem untuk mengurangi tingkat permeasi kelembaban pada lapisan dasar. Top coat juga dapat dipilih untuk memberikan reflektifitas, mengurangi fotodegradasi, atau mempengaruhi warna (Roberge, 2008).

## **2.8 Komponen *Organic Coating***

Material *coating* terdiri dari resin pengikat, pigmen, aditif dan pelarut atau dispersan. Komponen ini berada dalam satu campuran (pelarut cair atau media pendispersi) yang dapat bervariasi viskositasnya dengan penambahan thinner. Hanya



padatan yang akan terbentuk pada permukaan setelah final *coating* di aplikasikan. Namun, sebagian dari, atau total campuran dapat direaksikan dengan resin (*coating* dengan 100 persen solid) untuk menghasilkan lapisan akhir. Pigmen ditambahkan untuk memberi warna atau sebagai inhibitor pada prime coat (pertama). *Filler* dipilih untuk meningkatkan sebagian besar lapisan, memperbaiki kerapatan, meningkatkan ketahanan abrasi, dan meningkatkan keburaman film. Pemilihan *filler* yang salah atau penambahan *filler* berlebih dapat menurunkan kekuatan *coating* dengan meningkatkan permeabilitas atau penurunan sifat kohesi dalam film. Kandungan padatan dari cairan *coating* menentukan ketebalan lapisan akhir dari lapisan, tergantung pada jumlah yang diterapkan pada area tertentu (Roberge, 2008) :

$$\text{Film Thickness } (\mu\text{m}) = \frac{\text{Volume Liquid Coating (mL)} \times \% \text{Solid}}{\text{Surface Area Covered (m}^2\text{)}} \quad (2.1)$$

Pada proses aplikasi *coating*, *coating* akan terjadi reaksi kimia dan mengalami proses pengeringan, dimana saat proses pengeringan pelarut akan menguap dan pigmen serta binder mengalami pengeringan menjadi solid. Hal ini yang dinamakan solid volume dalam kemasan *organic coating* pada pasaran. Persen volume solid sendiri dalam aplikasi dapat dipertimbangkan untuk menentukan ketebalan *coating* yang diinginkan saat kering dengan mengukur saat kondisi basah. Berikut perhitungan DFT (*Dry Film Thickness*) dari WFT (*Wet Film Thickness*).

$$\text{WFT} = \frac{\text{DFT (mikron)} \times 100}{\text{percent solid by volume}} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$\text{DFT} = \frac{\text{WFT (mikron)} \times \text{percent solid by volume}}{100} \dots \dots \dots (2.3)$$

---

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**



Data persen solid diberikan oleh produsen yang diinformasikan melalui *technical data sheet* (TDS). Jika ada penambahan pelarut untuk mengurangi kekentalan, kandungan volume solid dalam produk tersebut akan berkurang (total volume akan bertambah, tetapi solid volume tidak). Hubungan akan berubah seperti digambarkan dibawah ini :

$$WFT = \frac{DFT(\text{mikron}) \times (100 + \text{percent added solvent})}{\text{percent solid by volume}} \dots (2.4)$$

$$DFT = \frac{WFT(\text{mikron}) \times \text{percent solid volume}}{(100 + \text{percent added solvent})} \dots \dots \dots (2.5)$$

### 2.8.1 Binder

Binder adalah komposisi utama dalam membuat lapisan *organic*. Binder merupakan suatu bahan yang membentuk lapisan berkelanjutan yang nantinya menempel pada material baja dimana binder akan mengikat komponen-komponen lainnya sehingga membentuk suatu lapisan dan akhirnya menghasilkan permukaan lapisan luar yang keras (NACE, 2012). Untuk membuat lapisan proteksi pada permukaan, resin binder harus berubah dari keadaan liquid menjadi solid yang nantinya akan menempel pada permukaan dan melindungi permukaan tersebut. Hal yang perlu diketahui tentang binder adalah bagaimana mereka mengalami curing. Pada umumnya binder dapat mengalami curing dengan dua cara, pertama adalah melalui evaporasi solvent. Binder mengalami curing seperti ini disebut binder *thermoplastic* atau *non-converible*. Kedua adalah lewat reaksi kimia selama atau setelah proses pengecatan. Binder ini dikenal dengan binder *thermosetting*. Selain itu, hal yang harus dipahami dari binder adalah viskositas. Karena merupakan komponen utama dalam *coating*, viskositas binder sangat menentukan viskositas *coating*.



*Coating* harus mempunyai viskositas cukup rendah untuk bisa digunakan dengan peralatan pengecatan sederhana (*brush, roller atau spray*) serta memiliki viskositas cukup tinggi sehingga tidak menetes. Faktor utama yang menentukan viskositas binder adalah berat molekularnya. Polimer yang mempunyai berat molekul tinggi akan lebih viscous daripada berat molekul rendah. Ada dua acara untuk mengontrol viskositas suatu *coating*, yaitu dengan memvariasi berat molekul binder atau dengan menambahkan sejumlah solvent.

Fungsi utama dari binder sendiri adalah menyediakan struktur fisik untuk mendukung pigmen dan aditif. Contoh dari binder adalah epoksi, polyurethane, alkid, akrilik, polyester, dan beberapa produk binder lainnya. Dalam membuat lapisan organik, dapat digunakan dua macam binder ataupun lebih sehingga meningkatkan sifat lapisan. Binder juga mempengaruhi berbagai factor penggunaan dalam cat, diantara lain:

1. Mekanisme dan durasi pengeringan
2. Peforma dalam berbagai lingkungan
3. Peforma dengan berbagai substrat
4. Ketersesuaian dengan jenis lainnya
5. Flexibilitas dan kekerasan
6. Daya lekat cat
7. Kemudahan dalam aplikasi

### 2.8.2 Solvent

Kebanyakan *coating* dibuat dengan beberapa pelarut dan jarang dengan pelarut tunggal. Pemilihan pelarut mempengaruhi viskositas, sifat aliran, kecepatan pengeringan, penyemprotan dan karakteristik penyikatan, dan gloss. Tidak ada pelarut universal untuk pelapis pelindung, pelarut terbaik dalam satu sistem seringkali tidak praktis bagi yang lain. Asphalt, misalnya, dapat

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



dengan mudah dilarutkan dengan hidrokarbon namun tidak larut dalam alkohol. Salah satu masalah yang paling serius yang terkait dengan *coating* adalah pilihan pelarut yang salah karena dapat sangat mempengaruhi karakteristik *curing* dan *adhesion* dari lapisan akhir. Salah satu cara mudah untuk menjelaskan pelarut adalah menggabungkannya kembali ke dalam kategori berikut:

- Hidrokarbon alifatik: Hidrokarbon alifatik atau parafin seperti nafta biasanya digunakan dengan *coating* berbasis aspal, minyak, dan vinil.
- Hidrokarbon aromatik: Hidrokarbon aromatik, seperti toluena, xilena, atau beberapa homolog dengan pemanasan tinggi, biasanya digunakan dengan rubber terklorinasi, batu bara, dan alkid tertentu.
- Keton: Keton seperti aseton, metil etil keton, metil isobutil atau amil keton, dan banyak lainnya, sangat efektif digunakan dengan vinyls, beberapa epoxies, dan formulasi resin lainnya.
- Ester: Ester seperti etil, n-propil, n-butil, dan amil asetat biasanya digunakan sebagai pelarut laten dengan formulasi epoksi dan poliuretan.
- Alkohol: Alkohol seperti metil, propil, iso-propil atau butil alkohol, dan siklo-heksanol adalah pelarut yang baik untuk pengikat yang sangat polar seperti fenolat. Beberapa alkohol digunakan sehubungan dengan epoxy.
- Eter dan eter alkohol: Eter seperti etil eter adalah pelarut yang sangat baik untuk beberapa resin alami, minyak, dan lemak. Bentuk biasa dari eter yang digunakan dalam lapisan pelindung adalah eter alkohol seperti etilena glikol mono metil eter, yang dikenal umumnya sebagai selosolve. Cellosolve adalah pelarut yang baik untuk banyak minyak,



gusi, resin alami, dan resin sintetis seperti alkid, etil-selulosa, nitro-selulosa, polivinil asetat, polivinil butitri, dan fenolat.

- Air: Peraturan baru-baru ini untuk mengurangi emisi senyawa organik yang mudah menguap (VOC) yang dihasilkan oleh pelarut organik memaksa industri *coating* untuk mempertimbangkan kembali penerapan air sebagai pelarut. Lapisan yang ditularkan melalui air yang biasa digunakan untuk aplikasi logam adalah udara yang dikeringkan atau dikeringkan pada suhu di bawah 90 ° C. Berbagai formulasi pelapis termasuk dalam kategori ini. Teknologi yang paling umum tersedia adalah alkid yang dapat direduksi dengan air dan alkyds termodifikasi, lateks akrilik, dan hibrida epoksi akrilik.

### 2.8.3 Pigmen

Pigmen pada dasarnya adalah serbuk kering yang tidak larut dalam media cat dan akibatnya perlu dicampur di dalamnya dengan teknik dispersi. Mereka berkisar dari mineral alami sampai senyawa organik buatan. Pigmen berkontribusi beberapa sifat penting untuk penggunaan lapisan pelindung yang efektif. Beberapa pigmen yang berbeda dapat digunakan dalam lapisan yang sama, semuanya berkontribusi terhadap karakteristik umum lapisan untuk melakukan fungsi penting seperti pemberian

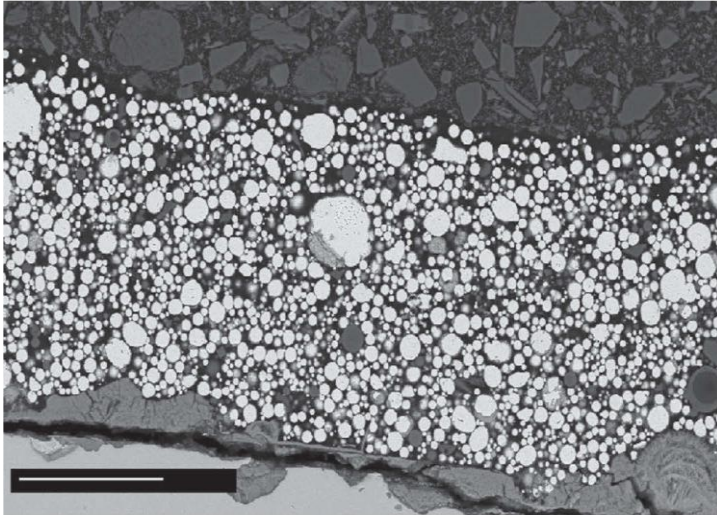
- Warna
- Perlindungan pada binder
- *Corrosion inhibition*
- *Corrosion resistance*
- Penguat film
- *Nonskid properties*

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



- Peningkatan cakupan permukaan
- Adhesi



**Gambar 2.4** *Cross section* dari cat berpigmen zinc (Forsgren, 2017)

## **2.9 Material Coating**

### **2.9.1 Epoksi sebagai Material Coating**

Epoksi telah menjadi bahan berteknologi penting dalam aplikasi ekstensif pada *coating* berperforma tinggi, perekat, dan plastik bertulang. Hampir sejak diperkenalkan secara komersial pada tahun 1950, sistem resin epoksi telah digunakan dalam lapisan *coating*. Secara historis, lapisan *coating* yang paling banyak digunakan adalah resin epoksi. Meskipun dalam beberapa tahun terakhir aplikasi *noncoating* resin epoksi telah berkembang, aplikasi dalam *coating* masih mewakili sekitar setengah dari penggunaan resin epoksi.

Lapisan resin epoksi memberikan sifat yang baik terhadap adhesi, ketahanan kimia, dan sifat fisik yang memberikan



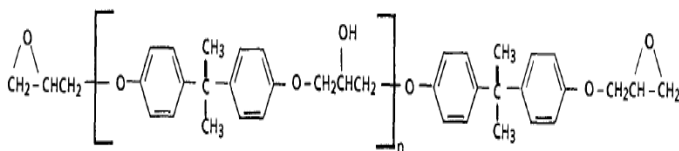
perlindungan luar biasa terhadap lingkungan korosif yang ekstrim. Mereka digunakan secara ekstensif dalam *coating* untuk kilang, pabrik kimia, dan peralatan kelautan seperti platform pengeboran lepas pantai dan kapal dagang. Aplikasi penting lainnya adalah lapisan resin epoksi digunakan hampir secara eksklusif karena proteksi korosi yang mereka berikan pada peralatan otomotif, pesawat terbang, dan alat serta untuk melindungi bagian dalam dan luar pipa. Resin epoksi adalah resin *thermosetting* yang digunakan untuk lapisan interior kaleng bir dan minuman, dan untuk lapisan tahan kimia dari ember dan drum.

Komponen utama dari setiap sistem pelapis resin epoksi adalah resin epoksi dan zat curing atau pengeras. Resin epoksi adalah zat antara reaktif yang bisa bersifat cair atau padat, dan diubah menjadi lapisan akhir melalui reaksi dengan agen *curing* (pengeras). Agen *curing* berfungsi dengan mereaksikan dengan kelompok tertentu dalam molekul resin epoksi untuk menghasilkan jaringan polimer tiga dimensi yang tidak dapat menyebar. Meskipun resin dan zat pengawet umum untuk semua pelapis epoksi, bahan lainnya digabungkan untuk mencapai karakteristik reologi yang diinginkan, kecepatan penyembuhan, dan kinerja film (Koleske, 1995).

Kelompok epoksi (juga disebut *epoxide*) adalah tiga jenis eter siklik. Dalam IUPAC dan *Chemical Abstracts* nomenklatur, mereka disebut oxiranes. Sebagian besar resin epoksi yang penting secara komersil berasal dari (klorometil) oksiran, yang lebih dikenal dengan epiklorohidrin (ECH). Resin umumnya mengandung oxiranylmethyl eter atau ester, biasanya disebut glycidyl eter atau ester (Wicks, 2007).

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



$n$  is typically 0 to 1 for liquid resins with solid resins  
having  $n$  values as high as 15 or more

**Gambar 2.5** Rantai Ikatan Kimia dari Epoksi (Koleske, 1995)

### 2.9.2 Polyurethane

Polyurethane memiliki beberapa karakteristik yaitu :

- Sifat tahan air yang baik
- Resistensi yang baik terhadap asam dan pelarut
- Resistensi alkali lebih baik daripada kebanyakan polimer lainnya
- Ketahanan abrasi yang baik dan, pada umumnya sifat mekanik yang baik

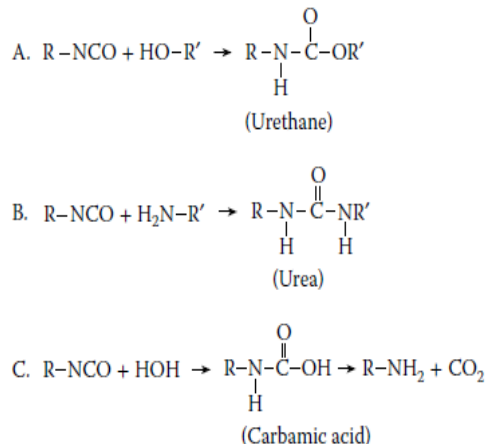
Mereka dibentuk oleh reaksi isocyanate ( $R-N = C = O$ ), biasanya dengan gugus hidroksil, amina, atau air. Beberapa reaksi khas ditunjukkan pada Gambar 2.6. Poliuretan dikelompokkan menjadi dua jenis, tergantung pada mekanisme penyembuhannya: urethane pelembab dan urethane obat kimia. Ini dijelaskan lebih rinci pada bagian selanjutnya. Baik poliuretan pengeringan kelembaban dan kimiawi dapat dibuat dari isosianat alifatik atau aromatik.

Poliuretan aromatik dibuat dari isosianat yang mengandung cincin karbon tak jenuh, misalnya toluena diisosianat. Poliuretan aromatik menyembuhkan lebih cepat karena reaktivitas kimiawi yang lebih tinggi dari poliisosianat, memiliki ketahanan kimia dan pelarut lebih banyak, dan lebih murah daripada alifatik



namun lebih rentan terhadap radiasi UV. Oleh karena itu, sebagai primer coat atau intermediate coat bersamaan dengan coat nonaromatik yang memberikan perlindungan UV. Rekomendasi pabrikan untuk waktu recoat maksimum harus diikuti dengan seksama.

Poliuretan alifatik dibuat dari isosianat yang tidak mengandung cincin karbon tak jenuh. Mereka mungkin memiliki struktur linier atau siklik. Pada struktur siklik, cincin itu jenuh. Resistensi UV dari poliuretan alifatik lebih tinggi daripada poliuretan aromatik, yang menghasilkan karakteristik pelapukan yang lebih baik, seperti gloss dan retensi warna. Untuk aplikasi luar di mana diperlukan ketahanan cuaca yang baik, coat alifatik lebih banyak digunakan. Dalam campuran aromatik-alifatik, bahkan sejumlah kecil komponen aromatik dapat secara signifikan mempengaruhi retensi gloss (Forsgren, 2006).



**Gambar 2.6** Jenis Reaksi Isosianat. A. Reaksi Hidroksil; B. Reaksi Amino; C. Reaksi Kelembaman (Forsgren, 2006)



---

### 2.10 Zinc Flake

Cat kaya zinc (ZRP), tentu saja, bukanlah hal baru. mereka telah digunakan untuk melindungi konstruksi baja selama beberapa dekade. Zinc memiliki dua bentuk: zinc dust dengan bentuk serpihan yang biasanya digunakan dan sangat efektif dan kelas granular yang lebih murah. Zinc flake tidak boleh disamakan dengan zinc dust yang digunakan pada lapisan kaya seng. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa zinc flake dapat memberi perlindungan katodik yang khas dari zinc dust dan karakteristik perlindungan penghalang pigmen lamellar. Namun, dalam praktiknya, ini bisa sangat sulit dicapai karena partikel debu seng di ZRP harus berada dalam kontak listrik untuk mendapatkan perlindungan katodik. Merancang lapisan di mana partikel seng saling kontak satu sama lain dan dengan baja, namun sepenuhnya bebas dari celah antara pigmen dan pengikat atau di antara partikel pigmen, sulit dilakukan. Kurangnya celah itu penting untuk pigmen penghalang, karena justru celah inilah yang menyediakan jalur untuk air dan oksigen untuk mencapai permukaan logam. Sebenarnya, penelitian Hare dan Wright menunjukkan bahwa serpihan seng mengalami pembubaran yang cepat di lingkungan korosif saat digunakan sebagai pigmen tunggal pada cat; pelapis mereka rentan terhadap terik. Pigmen zinc menawarkan proteksi korosi pada baja melalui empat mekanisme:

- Proteksi katodik terhadap substrat baja (seng bertindak sebagai anoda korban). Ini terjadi pada awal masa pakai lapisan dan secara alami lenyap seiring berjalannya waktu.
- *Barrier action*. Sebagai akibat dari seng berkorelasi korosi, ion seng dilepaskan ke lapisan. Ion-ion ini dapat bereaksi dengan spesies lain dalam lapisan tersebut untuk membentuk garam seng yang tidak larut. Saat mengendap,



garam ini mengisi pori-pori di lapisan, mengurangi permeabilitas film.

- Pengurangan oksigen. Molekul oksigen yang menyebar melalui lapisan ke arah logam mengalami reaksi dengan seng logam. Partikel seng membentuk lapisan ZnO dan Zn (OH) 2; de Lame dan Piens telah menemukan bahwa laju reduksi oksigen menurun secara eksponensial dengan peningkatan ketebalan lapisan ini. Mereka berspekulasi bahwa mekanisme pengurangan oksigen bisa bertahan lebih lama daripada proteksi katodik.
- Kondisi basa sedikit terbentuk sebagai korosi seng. Untuk alasan ini, tentu saja, hanya binder yang mentoleransi beberapa derajat alkalinitas yang harus digunakan.

Dari keempat mekanisme ini, dua yang pertama bergantung pada kandungan zinc yang tinggi untuk bekerja dengan baik. Dua yang terakhir tidak bergantung pada kandungan seng. Ada dua jenis ZRP, yang berbeda tergantung dari pengikat yang digunakan: organik dan anorganik. Dua komponen epoksi amina atau amida, ester epoksi, dan uretan adalah contoh pengikat organik. Pengikat organik memiliki karakter padat dan diisolasi secara elektrik; Oleh karena itu, rasio PVC / CPVC harus lebih besar dari 1 untuk seng untuk melakukan sebagai anoda korban (Forsgren, 2006)

Sifat anti korosi seng pada lapisan pelindung didasarkan pada efek penyegelan dan reaksi elektrokimia. Karena reaktivitas seng yang tinggi, ia bereaksi dengan komponen atmosfer (air, oksigen, karbon dioksida), yang berdifusi ke dalam pengikat, menghasilkan pembentukan garam seng yang tidak larut dalam air, terutama karbonat seng dasar. Peningkatan volume yang dihubungkan dengan pengisian vena yang ada pada film cat menurunkan permeabilitas, dan karenanya meningkatkan sifat penghalang. Efektivitas elektrokimia debu seng timbul karena seng

---

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**



memiliki posisi tinggi dalam rangkaian logam elektromotif. Seng menjadi anoda korban di bawah kondisi korosif saat bersentuhan dengan logam besi. Anoda pengorbanan melindungi katoda ferrous, seperti yang dijelaskan sebelumnya. Perlindungan ini bisa efisien asalkan seng bisa masuk ke larutan. (Buxbaum, 2005)

### 2.11 *Graphite*

Grafit adalah 'timbal' tradisional dalam pensil. Ini adalah pigmen lembut yang terdiri dari partikel seperti pelat inert. Pelat lamellar ini membentuk lapisan dalam film cat, yang mencegah penetrasi air dan karena itu digunakan untuk memperkuat pigmen lainnya dalam cat *anticorrosive*. Karena memiliki kekuatan tinctorial yang rendah dan warnanya memiliki intensitas rendah, maka warnanya jarang digunakan sebagai keunggulan sifatnya, namun memiliki tingkat penyebaran yang tinggi karena sifat partikelnya yang licin. Grafit merupakan senyawa karbon dengan bentuk kristal dalam susunan hexagonal.

Grafit dapat diperoleh dari sumber alami, dalam berbagai tingkat kemurnian dari 40 sampai 70% dalam kombinasi dengan silika. Hal ini juga dapat diproduksi oleh proses Acheson, yang terdiri dari pemanasan antrasit dalam tungku listrik pada suhu tinggi (Lambourne, 1999).

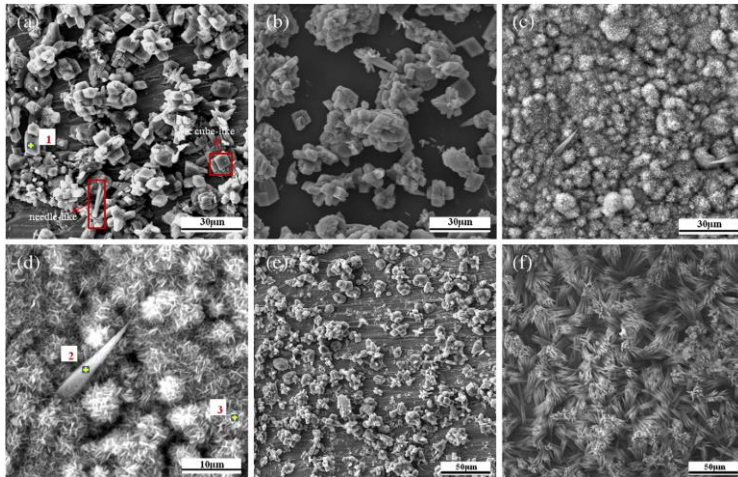
### 2.12 *State Of The Art (Penelitian Sebelumnya)*

Penelitian mengenai kemampuan cat epoksi dengan penambahan pigmen Ni-Cu-Al yang diujikan untuk ketahanan *fouling* dilakukan oleh Wang, 2012. Dalam penelitian tersebut dilakukan proses pelapisan dengan resin epoksi yang ditambahkan pigmen Ni-Cu-Al. proses pencampuran dilakukan dengan rasio 35% powder dan 65% resin epoksi. Substrat yang digunakan adalah *Stainless Steel 304*. Hasil yang didapatkan adalah cat epoksi



dengan penambahan pigmen Ni-Cu-Al memiliki ketahanan *fouling* yang baik dibandingkan dengan tanpa pelapisan. Ini disebabkan oleh lepasnya ion  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  ke dalam larutan dan yang menyebabkan *fouling*  $\text{CaCO}_3$  mengendap ke dalam larutan.

Penelitian mengenai zinc graphite dalam resin epoksi yang digunakan sebagai lapisan *antifouling* dilakukan oleh Wang, 2011.



**Gambar 2.7** hasil pengujian SEM setelah proses *immers*. (a) stainless steel; (b) *epoxy silicone coating*; (c) *composite coating*; (d) hasil perbesaran dari (c); (e) stainless steel; (f) *composite coating* setelah proses *immers* (Wang,2011).

Di dalam penelitian tersebut, dilakukan proses *coating* epoksi dengan penambahan pigmen berupa zinc flake-graphite yang memiliki rasio sebesar 3/1. Proses *coating* dilakukan terhadap substrat *Stainless Steel 304* dan diaplikasikan pada lingkungan geothermal yang kemudian didapatkan hasil bahwa *coating* dengan penambahan pigmen zinc-graphite memiliki sifat anti *fouling* yang baik jika dibandingkan dengan substrat tanpa *coating* dan substrat yang hanya di *coating* dengan epoksi tanpa penambahan pigmen.

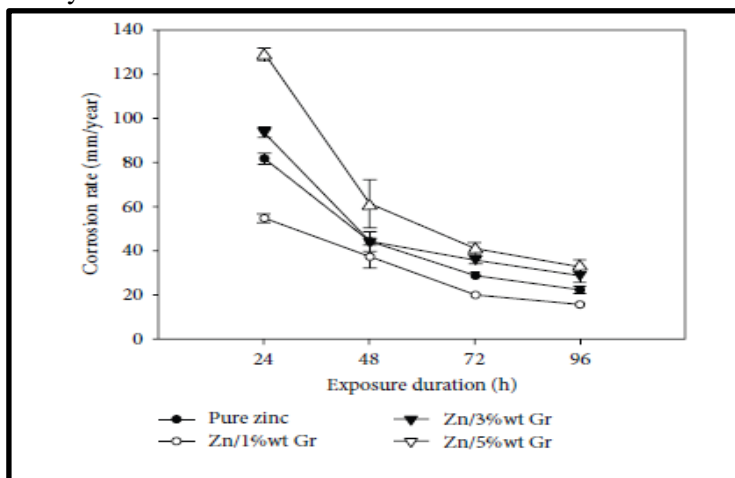
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA





Hal ini dikarenakan ion  $Zn^{2+}$  yang larut kedalam larutan akibat proses korosi galvanik antara zinc flake dengan graphite.

Penelitian selanjutnya adalah penelitian yang dilakukan oleh Afifi, 2014. Penelitian tersebut adalah penggunaan zinc-graphite *powder* untuk pembuatan *Metal Matrix Composite* (MMC). Di dalam penelitian tersebut, *graphite powder* divariasikan sebesar 1, 3, 5% dalam pembuatan *Metal Matrix Composite* yang kemudian didapatkan hasil bahwa semakin tinggi persen massa dari graphite akan meningkatkan *corrosion rate* dari *Metal Matrix Composite* tersebut. Dan *corrosion rate* yang paling baik adalah pada pencampuran graphite dengan massa 1% dibandingkan dengan pure zinc dan perbandingan massa graphite lainnya.



**Gambar 2.8** variasi *corrosion rate* dari Zn/Gr MMC (Afifi, 2014)

Penelitian berikutnya adalah penelitian yang dilakukan oleh Syaiful, 2015. Penelitian yang dilakukan adalah pengaruh



penambahan aluminium terhadap daya adhesi dan ketahanan korosi cat epoksi. Material substrat yang digunakan adalah baja SA 516 grade 70. Penambahan aluminium pada cat epoksi sebesar 5%, 10% dan 15%. Hasil yang didapatkan pada penelitian tersebut adalah pada pengujian adhesi, semakin bertambahnya kadar pigmen pada cat epoksi akan menurunkan daya adhesi cat. Sedangkan dalam ketahanan korosi mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar aluminium. Ketahanan korosi diuji dengan metode *scratch* untuk *salt spray test* dan metode *unscratch* untuk pengujian *immers*. Pengujian morfologi dilakukan menggunakan SEM untuk mengetahui persebaran pigmen aluminium. Daya adhesi tertinggi dimiliki pada substrat dengan penambahan 0% pigmen dengan nilai 10.26 Mpa. Ketahanan korosi paling tinggi dimiliki spesimen dengan 15% yaitu *rating* 9 untuk *salt spray test* dan *blister size no* 10 untuk pengujian *immers*.

Dari sekian penelitian yang sudah dilakukan tersebut, diketahui bahwa belum terdapat penelitian yang menggunakan pigmen zinc-graphite sebagai pigmen top coat pada pelapisan epoksi sebagai pigmen aktif bagi cat antifouling.

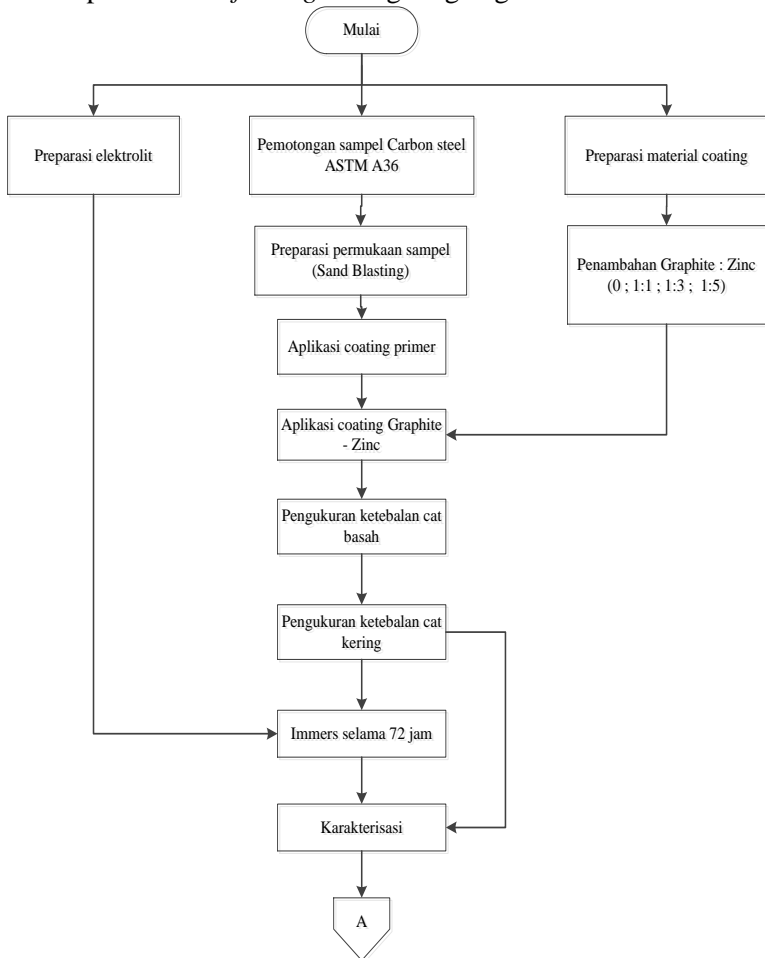
---

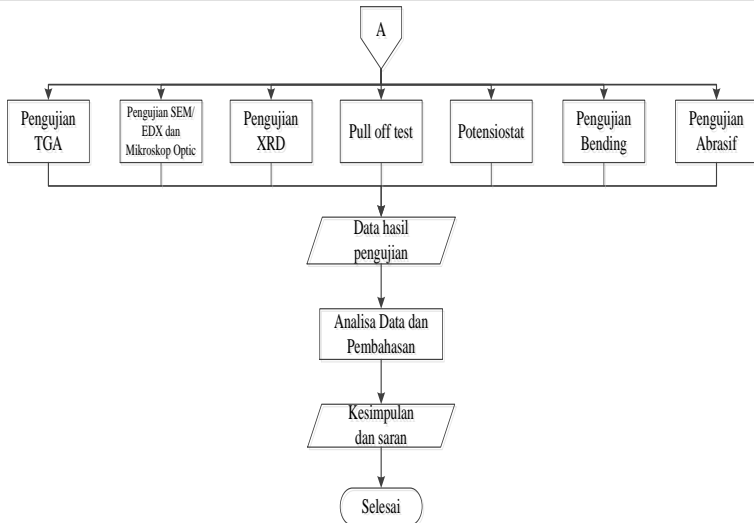
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut diagram alir untuk penelitian analisis pengaruh perbandingan pigmen zinc:grafit dalam lapisan epoksi-poliuretan terhadap ketahanan *fouling* di lingkungan geothermal.





**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Rancangan Penelitian

Rancangan Penelitian ditunjukkan pada tabel 3.1

**Tabel 3.1** Rancangan Penelitian

Variasi	Im mer s	Karakterisasi						
		Pull Off Test	SEM/E DX dan Mikros kop optik	XRD	TGA	Tafel	Bending	Abra sif
Epoksi - PU	v	v	v	v	v	v	v	v
Zn:C 1:1	v	v	v	v	v	v	v	v
Zn:C 3:1	v	v	v	v		v	v	v
Zn:C 5:1	v	v	v	v		v	v	v



Pengujian tanpa merusak seperti SEM, EDX, XRD, Mikroskop Optik dapat dilakukan pada satu sampel yang sama. Pengujian *pull off test*, SEM, EDX, XRD dilakukan sebelum dan setelah proses Immers. Pengujian *pull off test*, TGA, *Bending*, dan uji Abrasif dilakukan pada satu sampel yang lain, karena setelah pengujian ini sampel tidak dapat digunakan kembali. Sehingga, total sampel yang digunakan sebanyak 44 sampel.

### 3.3 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Alat *Surface Preparation (Abrasive Blasting)*

Surface preparation ini menggunakan *sand blasting*, digunakan untuk membersihkan permukaan substrat dari kotoran, karat, dan *scale*.



**Gambar 3.2** Alat *Sand Blasting*

2. Alat Uji Kekerasan Permukaan (*Roughness Meter*)

Digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan dari substrat sebelum dilakukan aplikasi pengecatan.



**Gambar 3.3** *Roughness Meter*

3. Alat Aplikasi Cat (*Conventional Spray*)  
Digunakan untuk aplikasi *coating*, bekerja dengan adanya tekanan udara yang diberikan dari kompresor.



**Gambar 3.4** *Conventional Spray*



4. Alat Ukur WFT (*Wet Film Thickness*)

Digunakan untuk mengetahui tebal lapisan cat basah pada proses aplikasi *coating*, pengukuran ketebalannya menggunakan *Comb Gauge*.



**Gambar 3.5** *Comb Gauge*

5. Alat Ukur DFT (*Dry Film Thickness*)

Digunakan untuk mengetahui tebal lapisan cat kering setelah aplikasi *coating*, pengukuran ini menggunakan *Electronic Gauge*.



**Gambar 3.6** *Electronic Gauge*



6. Neraca Analitik (*Mettler Toledo*)  
Digunakan untuk melakukan penimbangan massa pada preparasi elektrolit.



**Gambar 3.7** Neraca Analitik

7. Alat Uji Kekuatan Adhesi (*Pull Off Test*)  
Digunakan untuk mengetahui kekuatan lekat material *coating* terhadap substrat.



**Gambar 3.8** Alat Uji Adhesi





8. Mikroskop Stereo  
Digunakan untuk melakukan pengamatan makro pada retak yang terjadi setelah pengujian *bending*.



**Gambar 3.9** Mikroskop Stereo

9. Mikroskop Optik  
Digunakan untuk melakukan pengamatan mikro ikatan lapisan antara substrat dengan cat.



**Gambar 3.10** Mikroskop Optik



10. Thermostat

Digunakan untuk menjaga temperature larutan agar tetap pada temperature 50° C.



**Gambar 3.11** Thermostat

### 3.4 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Substrat

Untuk substrat atau specimen yang digunakan pada penelitian ini adalah baja ASTM A36.

2. Material *Coating*

Untuk material *coating* yang digunakan pada penelitian ini adalah epoxy jenis Penguard Primer (Jotun), dengan komponen A sebagai Binder dan B sebagai *curing agent*, sedangkan Solvent yang digunakan adalah Thinner Jotun No. 17. Kemudian pada aplikasi *top coating* menggunakan cat poliuretan dengan jenis Hardtop XP (Jotun), dengan komponen A sebagai binder dan B sebagai *curing agent*, sedangkan Solvent yang digunakan adalah Thinner Jotun No. 10. Berikut merupakan komposisi dari material *coating* yang digunakan :



**Tabel 3.2** Komposisi Cat Epoksi Komponen A (Penguard Primer)

Nama Bahan	%
Epoxy resin (MW $\leq 700$ )	$\geq 25$ –
Xylene	$\leq 50$
Cashew, nutshell liq., oligomeric reaction products with 1 –chloro-2, 3-epoxypropane	$\leq 10$
n-Butanol	$\leq 5$
Etil Benzen	$\leq 5$
	$\leq 3$

**Tabel 3.3** Komposisi Cat Epoksi Komponen B (Penguard Primer)

Nama Bahan	%
Xylene	$\geq 10$ –
n-Butanol	$\leq 25$
Etil Benzen	$\leq 10$
	$\leq 10$

**Tabel 3.4** Komposisi cat polyurethane komponen A (Hardtop XP)

Nama Bahan	%
n-Butil asetat	$\leq 10$
Xylene	$\geq 10$ –
Solvent naphtha (petroleum), light arom.	$\leq 25$
Etil Benzen	$\leq 5$
2-Propenoic acid, 2-methyl-, 2-(dimethylamino)ethyl ester, polymer with butyl 2-propenoate, comps. with polyethylene glycol hydrogen maleate C9-11-alkyl ethers	$\leq 5$
	$\leq 3$



**Tabel 3.5** Komposisi cat polyurethane Komponen B (Hardtop XP)

Nama Bahan	%
Hexamethylene diisocyanate, oligomers	≥ 75 –
n-Butil asetat	≤ 90
Solvent naphtha (petroleum), light arom.	<10
	<10

3. Elektrolit

Untuk larutan elektrolit yang digunakan pada penelitian ini adalah larutan  $\text{NaHCO}_3$  0.0025M dan  $\text{CaCl}_2$  0.0025M yang didapatkan dengan melarutkan serbuk kedalam aquades.

### 3.5 Metode Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan dengan metode penelitian sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Studi literature pada penelitian ini mengacu pada jurnal dan buku dari situs – situs penelitian yang mempelajari mengenai aplikasi pengendalian *fouling* dengan menggunakan *coating organic* khususnya epoksi dengan penambahan Zinc - Grafit sebagai pigmen.

2. Eksperimental

Pada penelitian ini sebelum aplikasi *coating*, dilakukan preparasi spesimen dengan sand blasting. Setelah aplikasi *coating*, dilakukan pengujian *pull off test*, pengujian immers, pengujian XRD dan pengujian morfologi berupa SEM dan Mikroskop Optik, pengujian TGA, pengujian laju korosi, pengujian fleksibilitas, dan pengujian abrasif.



---

### 3.6 Prosedur Penelitian

#### 3.6.1 Preparasi Spesimen Uji

Substrat sebagai bahan spesimen yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon ASTM A36. Plat yang digunakan dengan ketebalan 5 mm. Pemotongan dilakukan dengan *cutting tool* dan dilakukan penyelesaian akhir dengan gerinda. Pemotongan logam menjadi dimensi 100 x 50 x 5 mm untuk pengujian adhesi dan pengujian *immers* untuk pengujian ketahanan terhadap *fouling* dalam  $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$ , pengujian fleksibilitas, pengujian abrasif. Sedangkan untuk pengujian XRD, pengujian morfologi, pengujian potensiostat, dan pengujian TGA dimensi yang digunakan adalah 10 x 10 x 5 mm. Substrat yang telah di potong, permukaan dari baja dibersihkan terlebih dahulu sebelum pengaplikasian *coating*. Standar yang digunakan adalah SSPC (*Steel Structures Painting Council*). Pembersihan permukaan dari karat, *mill scale* dan pengotor lain dengan *hand tool cleaning* dengan menggunakan #180 SiC sesuai dengan standar SSPC SP2. Proses pemblastingan sesuai dengan standar SSPC SP10 dilakukan dengan *steel grit* berbentuk kristal sampai tingkat kebersihan Sa  $2\frac{1}{2}$ . Dan menghasilkan kekasaran permukaan 30-85 mikron sesuai dengan ISO 8503.



**Gambar 3.12** Tingkat Kebersihan Sa  $2\frac{1}{2}$  Hasil Sand Blasting

### 3.6.2 Preparasi Material Coating

Pada penelitian yang dilakukan material yang digunakan adalah *epoxy* dan *polyurethane* dari produsen Jotun dengan jenis Penguard Primer dengan menggunakan komponen A sebagai Binder dan komponen B sebagai Curing Agent. Pelarut (*solvent*) menggunakan Thinner Jotun No. 17. Material *coating* tersebut akan digunakan sebagai *primer coating*. *Finish coating* pada substrat akan menggunakan *polyurethane* dengan jenis Hardtop XP dan menggunakan Thinner Jotun No. 10. Pada *primer coating* pencampuran antara komponen A dengan komponen B dilakukan dengan rasio perbandingan 3 : 1. Sedangkan pada *finish coating*



pencampuran antara komponen A dan komponen B dilakukan dengan rasio 10:1. Pada finis *coating* dilakukan penambahan zinc powder dan grafit powder dengan rasio perbandingan (0 ; 1 : 1 ; 3 : 1 ; 5 : 1). Pencampuran epoxy dengan powder zinc – grafit dengan perbandingan (80 wt% : 20 wt%). Proses pengadukan dilakukan dengan *mechanical stirrer* hingga homogen.

### 3.6.3 Proses Coating

Proses *coating* pada substrat menggunakan alat *conventional spray* hingga dicapai *Wet Film Thickness* (WFT) yang diinginkan. Pengujian ketebalan basah menggunakan WFT *gauge* sesuai dengan standar ASTM D4414 dan ketebalan kering menggunakan DFT *electromagnetic gauge* sesuai dengan standar ASTM D1186. *Coating* diaplikasi pada kondisi atmosfer dan kelembaban yang cukup.



Gambar 3.13 Aplikasi Coating



**Gambar 3.14** Pengujian DFT

### 3.6.4 Preparasi Larutan Elektrolit

Larutan yang digunakan sebagai media *immers* untuk karakterisasi *fouling* pada substrat adalah 0.0025 mol/L  $\text{CaCl}_2$  dan 0.0025 mol/L  $\text{NaHCO}_3$ . Sebanyak 500 ml  $\text{CaCl}_2/\text{NaHCO}_3$  pada 50 °C.

### 3.6.5 Pengujian Adhesif

Pengujian adhesi dilakukan untuk mengetahui besar kekuatan adhesi lapisan *coating* terhadap substrat. Pengujian dilakukan setelah cat kering (*curing*). Pengujian *pull off* berdasarkan standar ASTM D4541. Alat yang digunakan seperti pada gambar 3.15 langkah pengujiannya adalah spesimen yang akan diuji diletakkan pada *dolly* alat uji yang sudah diberikan lem epoksi. Kalibrasi alat hingga menunjukkan angka nol. Kemudian tentukan satuan yang akan digunakan. Setelah itu, tekan tuas hingga sampel terlepas dengan *dolly*. Kemudian catat nilai yang didapatkan setelah pengujian.





**Gambar 3.15** *Pull Off Test*

### **3.6.6 Pengujian *Immers***

Pengujian *immers* bertujuan untuk mengetahui kualitas *coating* terhadap ketahanan *fouling*  $\text{CaCO}_3$ . Pengecekan dilakukan setelah sampel di *immers* selama 72 jam pada temperature 50 °C. Hasil pengecekan dilakukan perbandingan antar variable secara visual dan dilakukan penimbangan massa antara sebelum dan sesudah proses *immers*.

### **3.6.7 Pengujian SEM/EDX dan Mikroskop Optik**

Pengamatan SEM dilakukan untuk mengetahui bentuk pori dan penyebarannya pada *coating*. Serta bentuk ikatan antara *coating* dengan substrat baja. EDX. digunakan untuk mengetahui komposisi suatu molukel yang ada pada material *coating* Kemudian pengujian mikroskop optik dilakukan agar didapatkan morfologi pada struktur batas (*interface*) antara substrat dengan lapisan *coating*.



**Gambar 3.16** Mesin Pengujian SEM/EDX

### **3.6.8 Pengujian XRD**

Pengujian XRD dilakukan dengan tujuan mengidentifikasi senyawa atau unsur (analisis kualitatif) yang terbentuk pada sampel dan penentuan komposisi sampel (analisis kuantitatif) dalam material uji. Prinsip pada pengujian XRD adalah ketika suatu material dikenai sinar X, maka intensitas sinar yang ditransmisikan lebih rendah dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan sinar X oleh material dan penghamburan oleh atom – atom dalam material tersebut. Berkas sinar yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar X yang saling menguatkan itulah yang disebut berkas difraksi.



**Gambar 3.17** Mesin Pengujian XRD

### 3.6.9 Pengujian TGA

Pengujian TGA merupakan salah satu teknik analisis termal dengan melihat perubahan massa material terhadap temperature dan waktu. Dalam pengujiannya, material uji diletakkan dalam dapur pemanasan yang dapat dikontrol temperaturnya. Disisi lain material uji juga ditimbang massanya setiap perubahan secara kontinyu. Sedangkan temperatur pemanasan dapat dinaikkan dengan laju tertentu, yang lebih dikenal dengan *non-isothermal* TGA. Metode lain, temperature juga dapat dijaga tetap yang lebih dikenal dengan *isothermal* TGA. Sementara atmosfer disekitar benda uji dapat dikondisikan dalam lingkungan udara atau gas *inert*, dengan laju massa tertentu. Perubahan massa selama proses pengujian TGA menandakan adanya dekomposisi dari material. TGA diaplikasikan untuk menentukan karakteristik material polimer, untuk menentukan penurunan temperature, kandungan material yang diserap, komponen anorganik dan *organic* dalam material, dekomposisi bahan yang volatile dan residu bahan pelarut.



### 3.6.10 Pengujian Fleksibilitas

Fleksibilitas *coating* biasanya ditandai dengan metode uji *bending* mandrel yang diuraikan dalam metode uji ASTM untuk Uji Bend Mandrel Pelapis Organik (D 522). Tes ini biasanya dilakukan pada suhu rendah seperti - 51°C dan dilakukan dengan menekuk spesimen yang telah di cat hingga 180° di sekitar mandrels dengan berbagai diameter dengan lapisan yang sejajar dari mandrel. Setelah spesimen didinginkan hingga kembali ke temperatur kamar, lapisan diperiksa untuk mengetahui retak di sepanjang spesimen.



**Gambar 3.18** Alat Pengujian Fleksibilitas

### 3.6.11 Pengujian Ketahanan Aus

*Falling abrasive test* bertujuan untuk mengetahui tingkat *abrasive* dari suatu material *coating*. *Falling abrasive test* ditandai dengan metode uji menjatuhkan partikel pada permukaan *coating* yang diuraikan dalam metode uji ASTM D-968. Ketahanan abrasi



ditunjukkan dalam bentuk volume abrasif yang dibutuhkan untuk mengikis ketebalan satuan lapisan dengan abrasif yang jatuh dari ketinggian tertentu melalui sebuah tabung. Substrat didukung pada sudut  $45^\circ$  ke vertikal. Pengujian ini diuraikan dalam metode uji standar ASTM D968 “*Standard Test Methods for Abrasion Resistance of Organic Coatings by Falling Abrasive*”.



**Gambar 3.19** Alat Pengujian *falling abrasive*

### 3.6.12 Potensiostat

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui laju korosi dari material yang telah *coating*. Pada pengujian potensiostat terdapat tiga elektroda, yaitu elektroda kerja, elektroda bantu, dan elektroda acuan. Ketiga elektroda tersebut dicelupkan ke dalam larutan elektrolit  $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$  dalam gelas ukur dan terhubung dengan potensiostat.



**Gambar 3.20** Alat pengujian Potensiostat



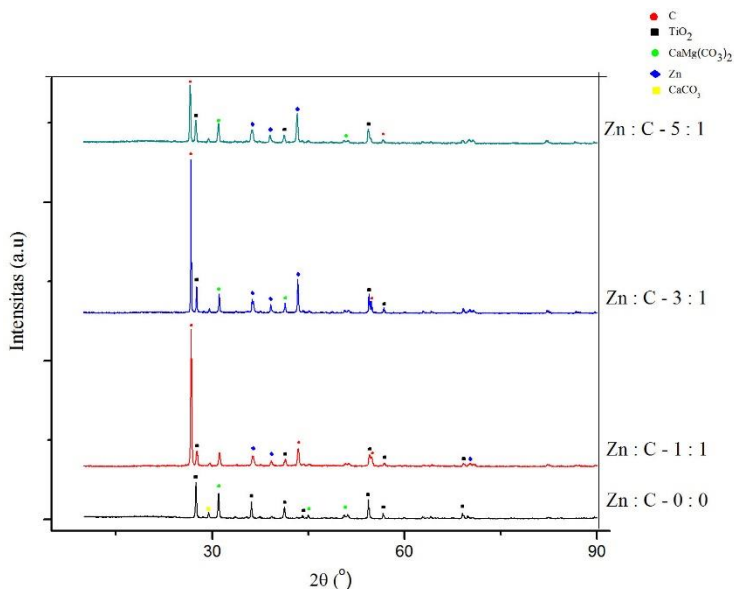
*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisa Senyawa

#### 4.1.1 Analisa XRD

Analisa senyawa dilakukan untuk mengetahui senyawa apa saja yang terdapat pada lapisan *coating* epoksi-poliuretan dengan penambahan pigmen zinc dan grafit. Pengujian dilakukan menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) terhadap substrat yang telah terlapiasi *coating* epoksi-poliuretan dengan penambahan pigmen zinc dan grafit. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Hasil Pengujian XRD Pada Lapisan *Coating* Epoksi-Poliuretan Dengan Penambahan Pigmen Zinc dan Grafit

Pada lapisan *coating* tanpa penambahan pigmen zinc:grafit terdapat unsur  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , dan  $\text{CaCO}_3$  yang merupakan





unsur yang ada pada cat Jotun. Unsur tersebut ditambahkan sebagai penambahan pigmen dalam cat. Kemudian pada lapisan *coating* dengan penambahan pigmen zinc:grafit 1:1, 3:1, dan 5:1 terlihat adanya *peak* dengan intensitas yang berbeda pada  $2\theta$  26.6°, 26.7°, 43.5°, 54.9°, dan 56.6°. Setelah dilakukan analisis berdasarkan JCPDS 01-075-2078 dan JCPDS 00-026-1076 yang merupakan JCPDS pada unsur grafit dengan struktur rhombohedral dan hexagonal. Kemudian setelah penambahan pigmen zinc:grafit, adanya kemunculan *peak* pada  $2\theta$  36.2°, 36.4°, 39.2°, 43.3°, 70.8°. Setelah dilakukan analisis berdasarkan JCPDS 00-004-0831, JCPDS 00-001-1238, dan JCPDS 03-065-3358 yang merupakan JCPDS pada unsur zinc.

#### 4.1.2 Analisa Komposisi

Hasil uji komposisi lapisan *coating* dengan menggunakan Energy Dispersive X-ray (EDX) dapat dilihat pada tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Komposisi Lapisan *Coating* dengan Penambahan Pigmen Zinc:Grafite (% wt)

Sampel	Wt%					
	C	O	Mg	Ca	Ti	Zn
(0:0)	38.22	23.65	3.99	7.48	23.59	0.83
(1:1)	39.93	20.52	4.47	6.79	16.64	11.65
(1:3)	39.78	16.76	3.35	6.32	17.88	13.14
(1:5)	38.63	18.25	3.57	5.98	16.94	15.88

Pada tabel 4.1 menunjukkan hasil uji komposisi dari 4 sampel lapisan *coating* epoksi-poliuretan yang ditambahkan pigmen zinc dan grafit dengan perbandingan (0:0), (1:1), (3:1) dan (5:1) pada substrat ASTM A36. Terlihat bahwa pada sampel tanpa penambahan pigmen, terdapat unsur zinc sebesar 0.83%. unsur zinc pada sampel tanpa penambahan pigmen zinc dan grafit merupakan unsur yang dimiliki oleh cat dengan merk Penguard



Primer (epoksi) dan Hardtop XP (poliuretan) dari Jotun. Pada sampel dengan penambahan pigmen (1:1) memiliki 11,65% zinc pada top coat. Dan pada sampel dengan perbandingan pigmen (3:1) dan (5:1) memiliki unsur zinc sebesar 13,14% dan 15,88%. Dalam hal ini semakin bertambahnya perbandingan pigmen zinc, akan meningkatkan persen massa dari unsur tersebut dalam lapisan *coating*.

Zinc pada *organic coating* memiliki sifat anti korosi seng pada lapisan pelindung didasarkan pada efek penyegelan dan reaksi elektrokimia. Karena reaktivitas seng yang tinggi, ia bereaksi dengan komponen atmosfer (air, oksigen, karbon dioksida), yang berdifusi ke dalam pengikat, menghasilkan pembentukan garam seng yang tidak larut dalam air. (Buxbaum, 2005).

Unsur carbon yang ada dalam lapisan juga ditunjukkan pada hasil XRD dengan berfase graphite. Unsur carbon dalam *organic coating* digunakan untuk membentuk lapisan dalam film cat, yang mencegah penetrasi air dan karena itu digunakan untuk memperkuat pigmen lainnya dalam cat *anticorrosive*. Karena memiliki kekuatan tinctorial yang rendah dan warnanya memiliki intensitas rendah, maka warnanya jarang digunakan sebagai keunggulan sifatnya, namun memiliki tingkat penyebaran yang tinggi karena sifat partikelnya yang licin. Grafit merupakan senyawa karbon dengan bentuk kristal dalam susunan hexagonal (Lambourne, 1999).

Pada hasil XRD menunjukkan adanya senyawa  $\text{TiO}_2$  dalam lapisan *coating*. Senyawa  $\text{TiO}_2$  merupakan senyawa yang ada pada lapisan cat Jotun, yang ditemukan pada cat epoksi dan poliuretan. Pada penelitian Braun (1992) menyebutkan bahwa Partikel  $\text{TiO}_2$  memberikan lebih banyak hamburan cahaya daripada komposisi pigmen lainnya. Kinerja hamburan cahaya dari  $\text{TiO}_2$  adalah unik karena fase r-utile memiliki indeks refraksi tertinggi dari zat yang tidak berwarna dan stabil.

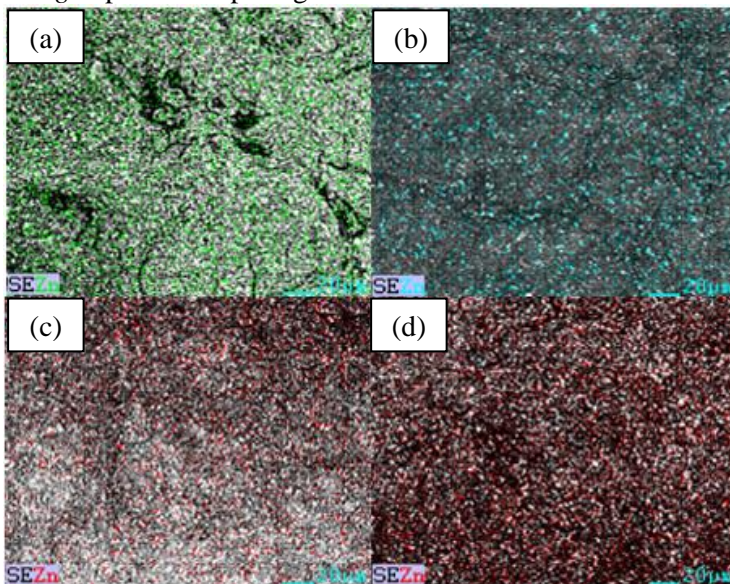
Persebaran unsur zinc dalam lapisan *coating* tersebar merata, dikarenakan sebelum pengaplikasian *coating*

---

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



menggunakan hand mixer untuk mencampur antara pigmen zinc:grafit dengan cat poliuretan. Persebaran dari pigmen zinc pada coating dapat dilihat pada gambar 4.2



**Gambar 4.2** Hasil *Elemental Mapping* SEM-EDX Lapisan Coating Zinc:Grafit Pada Sampel : (a) (0:0), (b) (1:1), (c) (3:1), (5:1).

Pada gambar 4.2 merupakan hasil *elemental mapping* pada lapisan coating zinc:grafit (0:0), (1:1), (3:1), dan (5:1) dimana hasil yang didapatkan semakin tinggi rasio pigmen zinc:grafit yang ditambahkan maka persebaran pigmen zinc akan semakin merata pada lapisan coating. Pada hasil XRD pada gambar 4.1 menunjukkan semakin tinggi nya ketiga peak zinc ketika rasio pigmen zinc:grafit ditambahkan.

#### 4.2 Analisa Morfologi

Daya lekat antara permukaan dengan cat juga dapat diamati dengan melakukan pengamatan menggunakan mikroskop

### BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



optik, karena daya lekat juga dipengaruhi dengan ikatan yang terbentuk antara permukaan substrat dengan cat. Ikatan ini dipengaruhi dari kekasaran permukaan yang terbentuk oleh hasil dari persiapan permukaan, tahap persiapan permukaan dilakukan menggunakan abrasive blast cleaning. Sebelum proses blasting, dilakukan pengamatan pada permukaan substrat dan diperoleh bahwa permukaan substrat memiliki nilai *rust grade* B yang sesuai dengan ISO 8501-1 (1998).

Pada penelitian ini menggunakan *sand blasting* dengan material *abrasive steel grit* dengan standar kebersihan permukaan Sa 2½ yaitu pembersihan yang sangat menyeluruh (ISO 8501-1, 2007). *Steel grit* merupakan media *abrasive* yang dapat menghasilkan kekasaran permukaan (*surface roughness*) yang baik.



**Gambar 4.3** Hasil *Abrasive Blasting* Pada Substrat ASTM A36 dengan Tingkat Kebersihan Sa 2½ (ISO 8501-1).

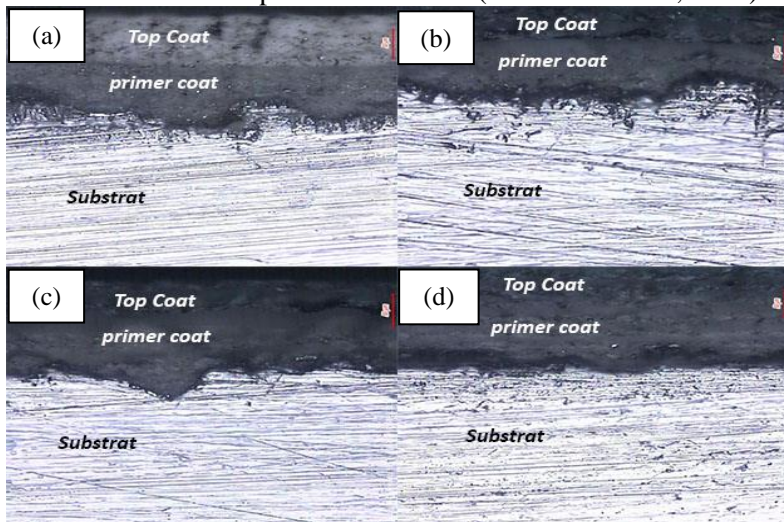
---

#### **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**



Pada gambar 4.3 merupakan hasil sand blasting dengan tingkat kebersihan Sa 2½. Hasil kekasaran permukaan yang didapatkan pada proses blasting dari rata rata seluruh substrat adalah 70µm. tingkat kekasaran ini sesuai dengan data teknis yang ada pada cat Jotun. Kekasaran yang diperlukan mencapai tingkat halus hingga sedang yaitu 30-85 µm (ISO 8503-2).

Adhesi pada pelapisan *coating* tergantung pada kekasaran permukaannya. Ini disebut adhesi mekanik. Ketika permukaan substrat kasar, maka titik-titik aktif di permukaan meningkat, sehingga ikatan polar dan kimia meningkat. Bentuk partikel abrasif dapat mempengaruhi kekasaran permukaan. Persiapan permukaan dapat dilakukan dengan cara yang berbeda tetapi *abrasive blasting* adalah salah satu cara paling efektif untuk menghilangkan lapisan karat pada permukaan substrat dan cara ini dapat memodifikasi ikatan kimia antara lapisan dan substrat (Khorasanizadeh, 2010)



**Gambar 4.4** Hasil Pengujian Mikroskop Optik Dengan Perbesaran 20x Lapisan *Coating* Zinc:Grafit Pada Sampel : (a) (0:0), (b) (1:1), (c) (3:1), (5:1).



Pengujian mikroskop optik dilakukan agar didapatkan morfologi pada struktur batas (*interface*) antara substrat dengan lapisan *coating*. Pengamatan dengan mikroskop optik dapat dilihat pada gambar 4.4.

Daya lekat cat tergantung pada hasil penetrasi cat yang masuk kedalam lubang-lubang yang terbentuk hasil *sand blasting* atau *abrasive blasting*, dari hasil pengamatan mikroskop optik dapat dilihat bahwa terdapat substrat, lapisan primer berupa cat epoksi, dan lapisan *top coat* berupa cat poliuretan. Pada lapisan primer merupakan lapisan yang langsung berikatan dengan hasil *sand blasting* dan akan terjadi *mechanical interlocking* antara hasil *sand blasting* dengan cat. Dan akan menentukan daya adhesif dari suatu cat.

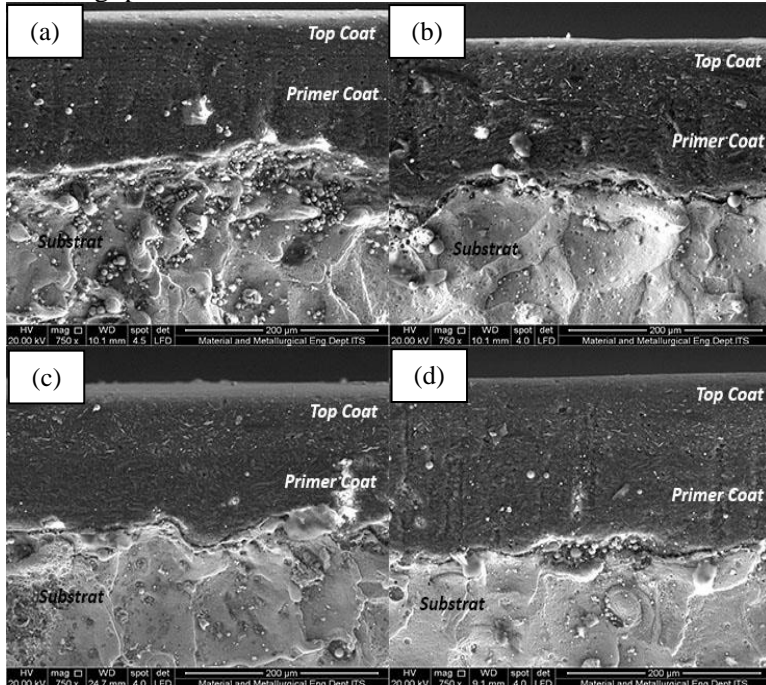
Dari gambar 4.4 hasil pengamatan mikroskop dapat dilihat bahwa cat mampu berpenetrasi dengan baik kedalam lubang-lubang hasil blasting, dimana cat primer yang berupa epoksi masuk mengikuti bentuk dari permukaan substrat dan menghasilkan *mechanical interlocking*. Menurut Islam (2014) Adhesi resin epoksi untuk substrat baja ada dua mekanisme yaitu, adhesi kimia, dan *mechanical interlocking*. Adanya oksida logam dalam permukaan baja yang diberikan perlakuan menyebabkan daya tarik elektrostatik yang sangat kuat antara baja dan epoksi. Adhesi lapisan terjadi ketika ada interaksi molekul yang baik antara resin epoksi dan substrat baja, sehingga adhesi meningkat karena gaya antarmolekul yang dihasilkan oleh kedua atom material. Rongga dan pori-pori yang terbentuk selama *abrasive blasting* menyediakan area permukaan yang lebih besar untuk reaksi elektrokimia dan selanjutnya akan meningkatkan kekuatan adhesi lapisan. Pada penelitian Nakazawa (1994) mengemukakan bahwa ikatan yang terjadi antara metal dan epoksi dapat terjadi karena senyawa pada resin epoksi teradsorpsi pada oksida besi dan oksida seng oleh ikatan antara phenoxy oksigen dan karbon. Besi oksida dan seng oksida yang berikatan dengan senyawa epoksi saling berkontribusi dalam mekanisme adhesi dan memberikan energi ikatan dengan senyawa epoksi.

---

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Analisa morfologi pada penelitian ini juga menggunakan pengamatan menggunakan SEM. SEM dilakukan untuk pengamatan mikro pada sisi *interface* antara substrat dengan *coating* menggunakan SEM serta melakukan pengamatan pada morfologi permukaan.



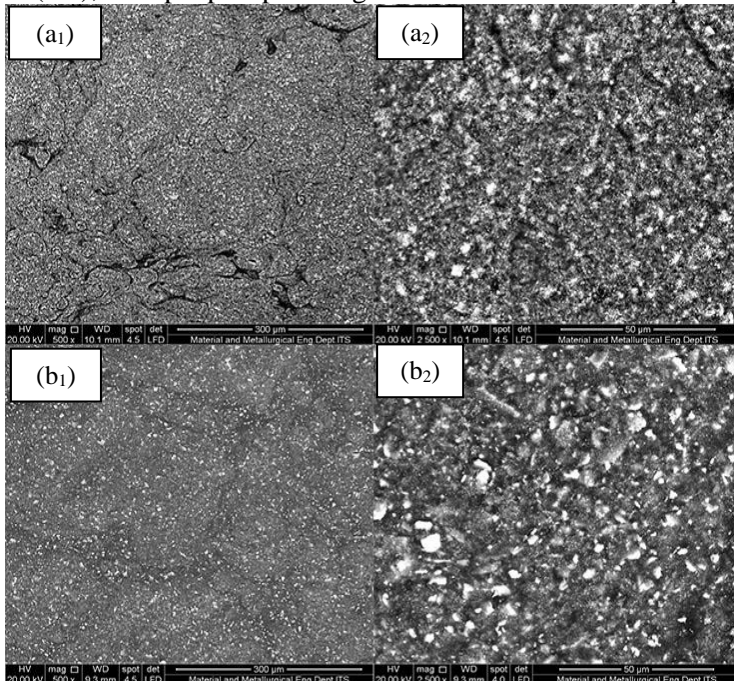
**Gambar 4.5** Hasil Pengujian SEM Dengan Perbesaran 750x Pada Lapisan *Coating* Zinc:Grafrit *Cross Section* Pada Sampel : (a) (0:0), (b) (1:1), (c) (3:1), (d) (5:1).

Pada gambar 4.5 yang merupakan hasil pengamatan menggunakan SEM secara *cross section* pada lapisan *coating* zinc:grafit dengan penambahan pigmen (0:0), (1:1), (3:1), (5:1) menunjukkan pada bagian *interface* antara substrat dengan lapisan primer, cat dapat membentuk ikatan yang baik dengan substrat. Sehingga antara substrat dengan cat primer terjadi *mechanical*

#### BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

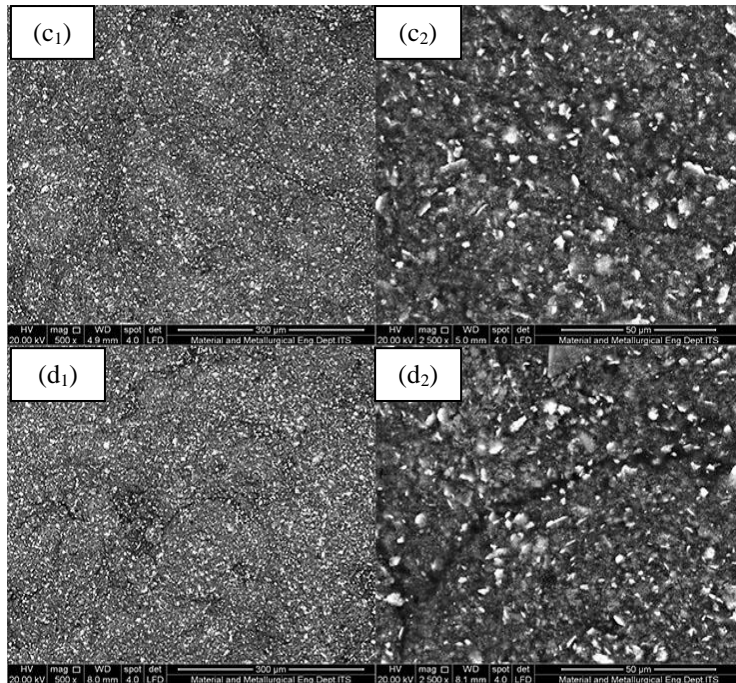


*interlocking* yang baik pada substrat dan *primer coating*. Hal ini sesuai dengan pengamatan yang dilakukan menggunakan mikroskop optik, pada gambar 4.4 dimana cat epoksi dapat berpenetrasi dengan baik pada lapisan substrat. Kemudian pada pengamatan SEM secara *cross section* juga didapatkan bahwa pada sampel dengan perbandingan pigmen zinc:grafit (0:0), (1:1), (3:1), dan (5:1), terdapat pori pada bagian *cross section* dari sampel.



**Gambar 4.6** Hasil Pengujian SEM Tampak Atas Pada Lapisan Coating Zinc:Grafrit 0:0 dan 1:1 dengan perbesaran : (a<sub>1</sub>)(b<sub>1</sub>) 500x, (a<sub>2</sub>)(b<sub>2</sub>) 2500x





**Gambar 4.7** Hasil Pengujian SEM Tampak Atas Pada Lapisan *Coating* Zinc:Grafit 3:1 dan 5:1 dengan perbesaran : (c<sub>1</sub>)(d<sub>1</sub>) 500x, (c<sub>2</sub>)(d<sub>2</sub>) 2500x

Pada gambar 4.6 dan 4.7 merupakan hasil pengamatan menggunakan SEM tampak atas pada lapisan *coating* dengan penambahan pigmen zinc:grafit (0:0), (1:1), (3:1), (5:1) menunjukkan pada bagian permukaan cat dengan penambahan *zinc flake*, pigmen tersebar merata pada bagian permukaan cat, dan pigmen zinc yang berbentuk lamelar dapat meningkatkan *barrier protection* pada cat karena dapat meningkatkan *surface area* dari cat tersebut. Pada penelitian kali ini partikel zinc yang digunakan memiliki bentuk lamellar atau flake, dengan ukuran partikel 4-5 $\mu$ m.



Proteksi dari zinc rich paint bergantung pada ukuran dan bentuk dari partikel zinc. Zinc yang ditambahkan dapat berbentuk lamellar, spherical, atau keduanya. Zinc dengan bentuk lamellar (atau keduanya) akan memberikan proteksi yang lebih baik untuk substrat. Dan ukuran partikel yang lebih kecil akan memberikan sifat anti korosi yang lebih baik (Baczoni, 2011). Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Kalendova (2003) cat dengan pigmen *zinc lamellar* merupakan penghalang yang lebih efisien untuk uap air, dibandingkan dengan cat yang berpigmen *zinc spherical*.

### 4.3 Analisa Kekuatan *Coating*

#### 4.3.1 Analisa Kekuatan Adhesi

Pada pengujian daya lekat atau adhesi *pull off test* awal yang dilakukan pada lapisan epoksi – poliurethan dengan substrat baja ASTM A36 yang terdapat variasi pada pigmen lapisan *coating* yaitu perbandingan pigmen zinc:grafit (0:0), (1:1) ; (3:1) ; dan (5:1). Dari hasil pengujian adhesi *pull off test* ini didapatkan nilai daya lekat terhadap penambahan pigmen dan merupakan nilai awal daya lekat cat sebelum dilakukan proses immers dalam larutan  $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$  0,0025 M.

**Tabel 4.2** Nilai daya lekat terhadap variasi penambahan pigmen

No.	Variasi pigmen Zinc : Grafit	Nilai Daya Lekat (MPa)	Keterangan			
		Rata rata	Adhesi	Kohesi Primer	Kohesi Top	Glue
1	(0 : 0)	11.1	-	48.58%	-	51.42%
2	(1 : 1)	11.6	-	4.58%	15.52%	79.90%
3	(3 : 1)	11.8	-	16.95%	0.62%	82.43%
4	(5 : 1)	12.1	-	17.10%	10.18%	72.72%

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



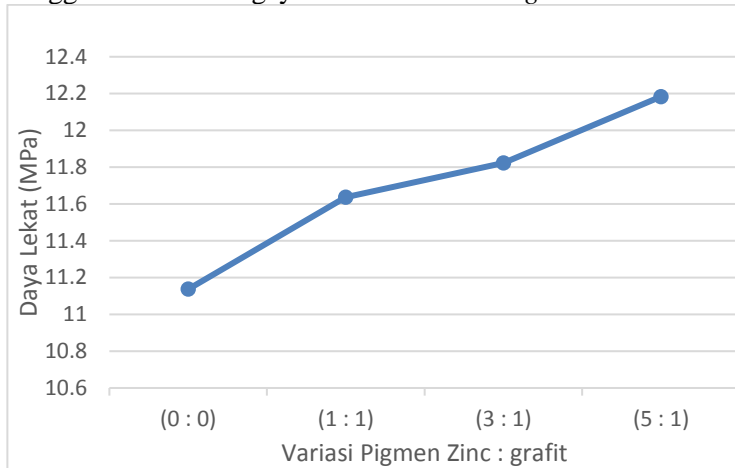
Berdasarkan data pada tabel 4.2 Didapatkan bahwa nilai daya lekat tertinggi terdapat pada sampel dengan perbandingan pigmen 1 : 5 dengan kohesi primer failure sebesar 17.10%, dan kohesi top failure sebesar 10.18%. Dan nilai daya lekat paling rendah adalah pada sampel tanpa penambahan pigmen dengan kohesi primer failure sebesar 48.58% dan pada glue sebesar 51.42%. Dapat dilihat dengan semakin bertambah nya perbandingan pigmen zinc maka nilai daya lekat akan semakin meningkat.

Dari hasil pengujian *pull off test* ini, menunjukkan tidak terjadi *adhesive failure* (ikatan antara cat terhadap substrat). Hal ini sesuai dengan gambar 4.5 pada pengujian SEM secara *cross section* dimana lapisan cat pada substrat dapat berpenetrasi dengan baik sehingga dapat terjadi *mechanical interlocking* antara substrat dan lapisan cat. Hasil menunjukkan preparasi permukaan yang telah dilakukan bebas dari kontaminan serta menciptakan kekasaran permukaan yang membuat ikatan cat dengan substrat lebih kuat. Dimana rata-rata kekasaran permukaan yang didapatkan dari hasil *sand blasting* adalah 70 mikron. Saat permukaan semakin kasar, maka pori/celah/lubang yang ada pada permukaan substrat semakin dalam sehingga saat pengaplikasian, *coating* dapat masuk ke dalam celah tersebut dan mengikat substrat dengan lebih baik. Maka terjadilah *mechanical interlocking* antara *coating* dan substrat baja. Namun, saat *coating* tidak berpenetrasi dengan baik dalam substrat, maka dapat menimbulkan *void* antara *coating* dan substrat di mana udara terjebak di dalamnya.

Kemudian pada pengujian didapatkan bahwa terjadi *cohesive failure* pada *primer coating* dan *top coating*, hal ini menunjukkan bahwa ikatan *crosslinking* yang terdapat pada *coating* sendiri atau antar cat lebih rendah daripada ikatan yang terjadi antara cat dengan substrat. Pada *cohesive top failure*, penambahan pigmen pada cat akan menurunkan gaya kohesif yang terjadi pada cat polyuretan dibuktikan dengan adanya *cohesive failure* pada penambahan pigmen zinc:grafit (0:0) (1:1), (3:1), dan (5:1) yang disebabkan karena pigmen zinc menyebar merata di cat



polyurethane, sehingga menghalangi ikatan yang terjadi antara polyurethane – polyurethane atau yang sering disebut *coating disbondment* (Knudsen, 2013). Selain itu, pada gambar 4.5 terdapat pori pada *internal coating* yang ditambahkan grafit dan zinc, sehingga menurunkan gaya kohesi dari *coating* tersebut.



**Gambar 4.8** Grafik Nilai Daya Lekat Terhadap Penambahan Pigmen Zinc : Grafit

Pada gambar 4.8 merupakan hasil tren pada pengujian *pull off test*, didapatkan tren dari penambahan pigmen zinc:grafit (0:0), (1:1), (3:1), dan (5:1), memiliki tren yang naik, yaitu semakin bertambah nya perbandingan pigmen zinc akan menaikkan daya lekat dari cat. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Nematollahi pada tahun 2010 yaitu penambahan pigmen *glass flake* pada cat sebesar 1wt% dan 3wt% akan meningkatkan daya lekat dari cat.

Pada penelitian kali ini, menggunakan perbandingan volume pigmen dan resin adalah 20% dan 80%. Sehingga *Pigment Volume Concentration* (PVC) yang digunakan dalam penelitian ini adalah 20%. Rumus dari *Pigment Volume Concentration* (PVC) adalah sebagai berikut :

---

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



$$PVC = \frac{\text{Volume of pigment}}{\text{Volume of pigment} + \text{Volume of binder}} \dots \dots 4.1$$

Pada penelitian lain yang dilakukan oleh David Vesely pada tahun 2010 mengemukakan bahwa penggunaan zinc dalam bentuk *lamellar* atau *flake* dapat meningkatkan kekuatan adhesi dari lapisan *coating*. Dalam penelitian tersebut juga didapatkan bahwa nilai *Pigmen Volume Concentration* (PVC) yang paling baik adalah ketika nilai PVC sebesar 20%. Partikel pigmen yang berbentuk *lamellar* atau *flake* yang digunakan sebagai pigmen pelapis *organic* dapat dianggap sebagai bahan komposit. Matriks (binder) dan juga penguat (pigmen) berperan sinergis pada sifat *mechanical* pada lapisan cat. Ini merupakan faktor penting dalam meningkatkan sifat-sifat adhesi dari lapisan. Memperbaiki sifat mekanik dengan menggunakan pigmen yang sesuai dapat meningkatkan stabilitas lapisan

Peran pada pigmen atau partikel polimer dalam memodifikasi sifat mekanis pelapisan cat mirip dengan peran yang dimainkan oleh *filler* pada polimer dalam menentukan sifat mekanik komposit (Lambourne, 1999). *Filler* memainkan peran penting dalam peningkatan sifat matriks polimer, seperti mekanis, termal, konduktivitas listrik dan perlindungan korosi. Setiap *filler* dapat mempengaruhi pada properti khusus. Fraksi volume, bentuk dan ukuran partikel *filler* sangat efektif pada peningkatan sifat polimer (Olad, 2010)

#### 4.3.2 Analisa Kekuatan Fleksibilitas *Coating*

Pengujian fleksibilitas yang dilakukan mengacu pada metode ASTM D522. Pada pengujian fleksibilitas. Spesimen di tekuk pada sudut 90° dan 180°, kemudian diamati retakan yang terjadi pada material *coating* secara visual dan makroskopik.

Hasil dari pengujian mandrel dapat dilihat pada tabel 4.3 dan gambar 4.9 dan gambar 4.10 Hal yang dapat diamati adalah

---

### BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

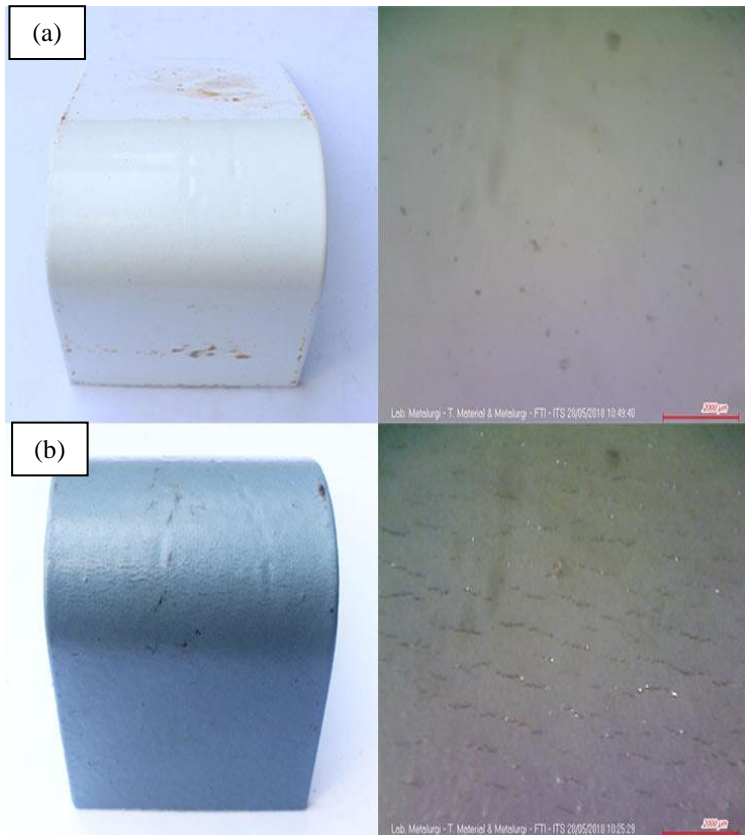


bagaimana material *coating* dapat tetap menempel atau terlepas pada permukaan substrat. Pada seluruh lapisan *coating* dengan variasi penambahan pigmen zinc:grafit (0:0), (1:1), (3:1), dan (5:1) menunjukkan tidak ada lapisan *coating* yang terlepas dari substrat. Hal ini menandakan bahwa mekanisme *interlocking* yang terjadi antara material *coating* dan substrat dapat dikategorikan baik karena tidak ada material *coating* yang terlepas setelah dilakukan pengujian. Namun pada sampel dengan penambahan pigmen zinc:grafit (1:1), (3:1), dan (5:1) terjadi *crack* pada permukaan *coating*. Pada penambahan pigmen zinc:grafit (1:1), *crack* muncul pada saat uji pada 90 °. Sedangkan sampel dengan penambahan (3:1) dan (5:1), *crack* muncul pada saat diuji hingga 180 °. Sampel yang sama sekali tidak terjadi *crack* saat diuji, adalah sampel tanpa penambahan pigmen. *Crack* yang terjadi pada sampel dengan penambahan pigmen, semakin sedikit ketika perbandingan penambahan pigmen zinc:grafit pada (5:1). Hasil uji fleksibilitas sesuai dengan hasil pengujian *pull off*, dimana saat penambahan pigmen zinc:grafit (1:1), (3:1), dan (5:1) terjadi *cohesive failure* pada *top coating*. Sedangkan pada pengujian *pull off* sampel tanpa penambahan pigmen, tidak terjadi *cohesive failure* pada *top coating*. Hasil *crack* dapat dilihat pada analisa secara makroskopik dengan perbesaran 32x.

**Tabel 4.3** Hasil Pengujian Fleksibilitas Pada 90 ° dan 180 °

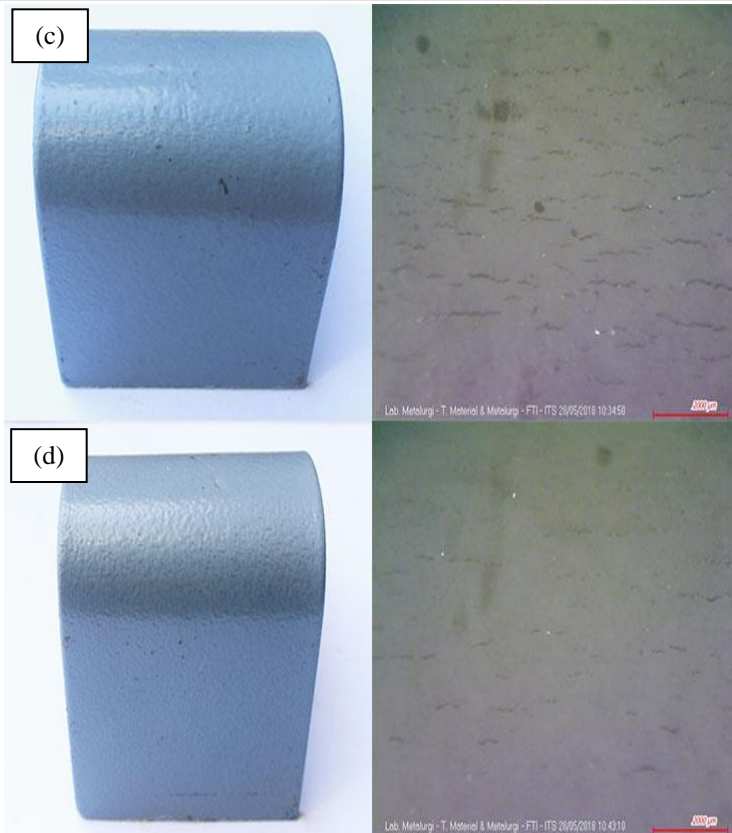
NO.	Variasi pigmen Zinc : Grafrit	Hasil	
		90°	180°
1	(0 : 0)	Tidak retak	Tidak retak
2	(1 : 1)	Retak	Retak
3	(3 : 1)	Tidak retak	Retak
4	(5 : 1)	Tidak retak	Retak

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



**Gambar 4.9** Hasil Pengujian Fleksibilitas Secara Visual dan Mikroskop Dengan Perbesaran 32x Pada Lapisan *Coating* Zinc:Grafrit Pada Sampel : (a) (0:0), (b) (1:1).





**Gambar 4.10** Hasil Pengujian Fleksibilitas Secara Visual dan Mikroskop Dengan Perbesaran 32x Pada Lapisan *Coating* Zinc:Grafit Pada Sampel : (c) (3:1), (d) (5:1).

Penelitian yang dilakukan oleh Baczoni pada tahun 2011 yaitu penambahan pigmen zinc pada cat akan menurunkan tingkat fleksibilitas, dan akan meningkatkan kekerasan seiring bertambahnya kandungan zinc dalam cat. Hal ini dikarenakan properties dari zinc yang memiliki sifat yang keras.

Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Mitrovic pada tahun 2011 yang menggunakan partikel grafit sebagai *reinforced*

#### **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**





pada komposit akan menurunkan beberapa *mechanical properties*, seperti kekerasan, koefisien ekspansi termal dan ketangguhan dengan semakin bertambahnya grafit. Dia menemukan bahwa efek positif dari penambahan grafit akan memberikan efek pelumasan, dan mengurangi koefisien gesekan dari komposit. Penggunaan komposit grafit juga dilakukan oleh Shang pada tahun 2017, pada penggunaan grafit akan meningkatkan flexural modulus dari komposit ketika grafit ditambahkan. Grafit sebagai *reinforced* anorganik memiliki struktur lapisan yang unik dan ikatan antar lapisan melalui ikatan van der Waals yang lemah, yang memungkinkan lapisan grafit menjadi mudah dipisahkan atau bergeser melewati satu sama lain. Struktur lapisan uniknya menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang rendah. Penelitian lain juga dilakukan oleh Guidice tahun 2013, yang menggunakan grafit sebagai *reinforced* pada zinc laminar *coating*. penggunaan grafit menghasilkan elongasi yang paling tinggi namun menurunkan sifat tensile nya dibandingkan dengan penggunaan material *reinforced* lainnya.

#### 4.3.3 Analisa Kekuatan Abrasif

Pengujian *falling abrasive* yang dilakukan mengacu pada metode ASTM D968. Pada pengujian abrasif ini menggunakan material abrasif *silica sand*. Hasil pengujian *falling abrasive* dapat dilihat pada tabel 4.4

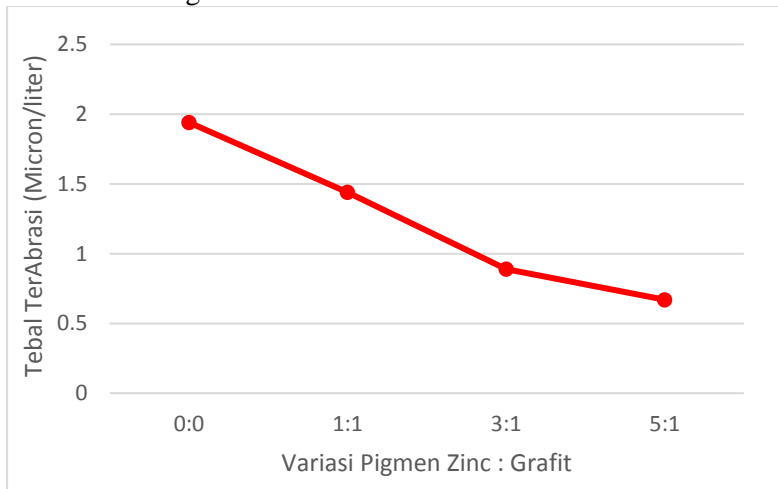
**Tabel 4.4** Hasil pengujian *Abrasive Falling*

No.	Penambahan pigmen Zinc : Grafit	Rata - rata Terabrasi (Micron)	Tebal Terabrasi (Micron/liter)
1	0:0	11.67	1.94
2	1:1	8.67	1.44
3	3:1	5.33	0.89
4	5:1	4	0.67

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Berdasarkan data pada tabel 4.4 Didapatkan bahwa nilai ketebalan yang terabrasi tertinggi terdapat pada sampel dengan tanpa penambahan pigmen zinc:grafit (0:0). Dengan tebal terabrasi tiap liternya adalah 1.94 micron/liter. Dan nilai ketebalan yang terabrasi paling rendah adalah pada sampel dengan penambahan pigmen zinc:grafit (5:1). Dapat dilihat dengan semakin bertambahnya perbandingan pigmen zinc maka nilai tebal yang terabrasi akan semakin meningkat.



**Gambar 4.11** Grafik Nilai Tebal Terabrasi Terhadap Penambahan Pigmen Grafit : Zinc

Pada gambar 4.11 didapatkan tren pada pengujian *falling Abrasive*, hasil dari penambahan pigmen zinc:grafit (0:0), (1:1), (3:1), dan (5:1), memiliki tren yang naik, yaitu semakin bertambahnya perbandingan pigmen zinc akan menaikkan ketahanan abrasif lapisan *coating* tersebut. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Baczoni pada tahun 2011, dalam penelitian tersebut penambahan zinc pigmen kedalam *organic coating* akan meningkatkan kekerasan dari lapisan *coating*. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Li pada tahun 2009 menunjukan Peningkatan ketahanan abrasi untuk sampel dengan nanopartikel

#### **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**



Zn disebabkan ikatan polimer terbentuk di sekitar nanopartikel keras. Hal ini dikarenakan properties zinc yang memiliki sifat keras hingga 52 HB (ASM Metal Handbook Vol. 2, 1992).

#### 4.4 Analisa Ketahanan *Coating* Terhadap *Fouling*

##### 4.4.1 Analisa Komposisi Pasca Immers (XRD dan EDX)

Hasil uji komposisi lapisan *coating* pasca pencelupan dalam larutan  $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$  0.0025 M dengan menggunakan Energy Dispersive X-ray (EDX) dapat dilihat pada tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Komposisi Lapisan *Coating* dengan Penambahan Pigmen Zinc:Grafrit pasca Pencelupan dalam Larutan (% wt)

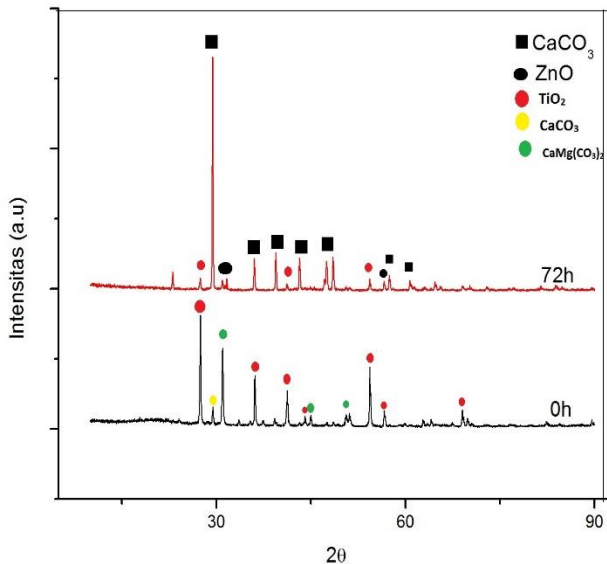
Sampel	Wt%					
	C	O	Cl	Ca	Ti	Zn
(0:0)	4.34	40.86	1.04	53.77	-	-
(1:1)	4.1	37.07	3.44	53.59	-	-
(1:3)	8.31	40.97	-	32.68	5.51	-
(1:5)	34.81	30.52	1.54	8.82	14.38	4.33

Pada tabel 4.5 menunjukkan hasil uji komposisi dari 4 sampel lapisan *coating* epoksi-poliuretan yang ditambahkan pigmen zinc dan grafit dengan perbandingan (0:0), (1:1), (3:1) dan (5:1) pada substrat ASTM A36. Terlihat bahwa pada sampel tanpa penambahan pigmen, terdapat unsur calcium sebesar 53.77%. Pada sampel dengan penambahan pigmen zinc:grafit (1:1) memiliki 53.59% calcium pada top coat. Dan pada sampel dengan perbandingan pigmen (3:1) dan (5:1) memiliki unsur calcium sebesar 32,68% dan 8,82%. Dalam hal ini semakin bertambahnya perbandingan pigmen zinc, akan menurunkan persentase calcium yang terdeposit pada permukaan lapisan *coating*.

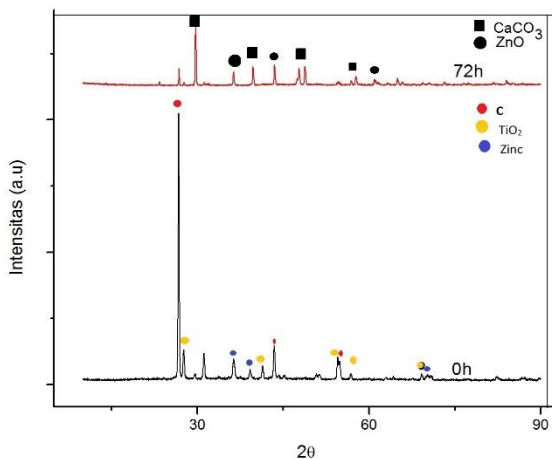
Analisa senyawa juga dilakukan menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) untuk mengetahui senyawa apa saja yang terdapat pada lapisan *coating* epoksi-poliuretan dengan



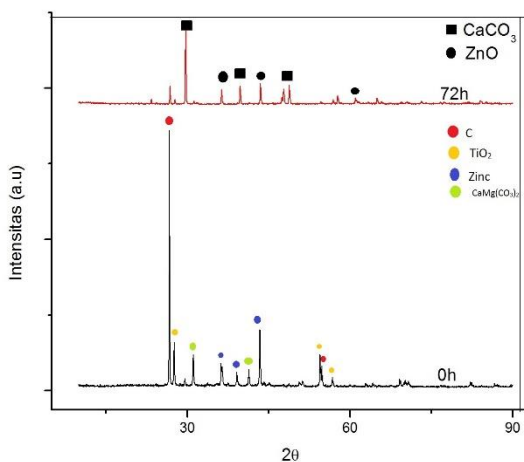
penambahan pigmen zinc:grafit 0:0, 1:1, 3:1, dan 5:1 pasca proses pencelupan dalam larutan  $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$  0.0025 M. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.12, 4.13, 4.14 Dan 4.15



**Gambar 4.12** Hasil pengujian XRD pada lapisan *coating* epoksi-poliuretan dengan penambahan pigmen zinc:grafit (0:0)

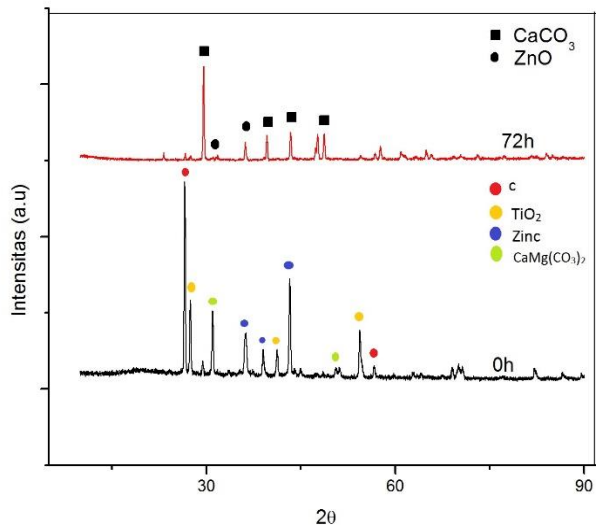


**Gambar 4.13** Hasil pengujian XRD pada lapisan *coating* epoksi-poliuretan dengan penambahan pigmen zinc:grafit (1:1)



**Gambar 4.14** Hasil pengujian XRD pada lapisan *coating* epoksi-poliuretan dengan penambahan pigmen zinc:grafit (3:1)

#### BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



**Gambar 4.15** Hasil pengujian XRD pada lapisan *coating* epoksi-poliuretan dengan penambahan pigmen zinc:grafit (5:1)

Pada hasil analisa XRD, pada tiap lapisan *coating* dengan penambahan pigmen zinc:grafit (0:0), (1:1), (3:1), dan (5:1) didapatkan pada tiap lapisan *coating* masih adanya deposit dari *fouling*  $\text{CaCO}_3$ . Senyawa lain yang terbentuk pada pasca proses pencelupan dalam larutan  $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$  0.0025 M adalah senyawa ZnO. Kemudian pada lapisan *coating* tanpa penambahan pigmen zinc:grafit masih terdapat senyawa  $\text{TiO}_2$  yang merupakan senyawa yang terdapat pada cat Jotun.

#### 4.4.2 Analisa Deposit *Fouling* $\text{CaCO}_3$ Pasca Pengujian Immers dalam Larutan $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$

Pengujian ketahanan *fouling* dilakukan untuk mengetahui ketahanan *fouling*  $\text{CaCO}_3$  dari setiap *coating* dengan variabel penambahan grafit dan zinc. Pada penelitian ini digunakan metode

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



pencelupan selama 3 hari dalam larutan  $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$  pada temperatur  $50^\circ\text{C}$ . Pada metode ini, tiap spesimen ditimbang massa sebelum pencelupan dan massa setelah pencelupan dalam larutan. Kemudian hasil dari pencelupan specimen tersebut di rata-rata. Sehingga didapatkan data rata-rata pada setiap variabel dan hal ini dapat dilihat pada tabel 4.6.

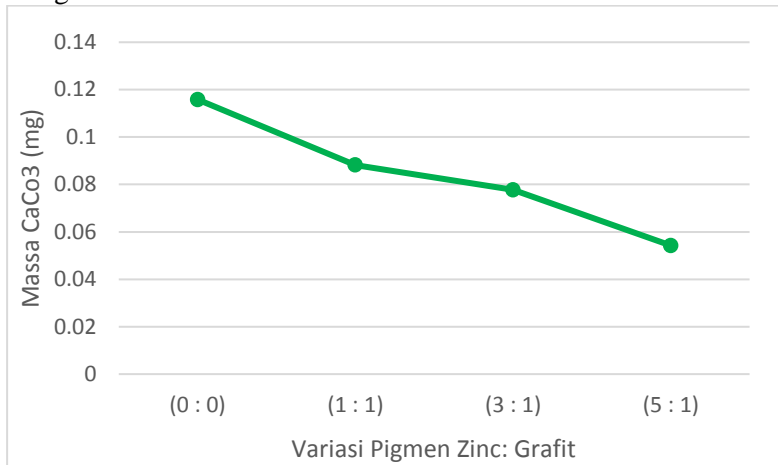
**Tabel 4.6** Data deposit massa hasil proses imers dalam larutan  $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$

No.	Variasi Penambahan Pigmen Zinc:Grafrit	Rata-rata Massa Sebelum Immers (gram)	Rata - rata Massa (mg)
1	(0 : 0)	225	0.11
2	(1 : 1)	245	0.08
3	(3 : 1)	219	0.07
4	(5 : 1)	220	0.05

Dari tabel 4.6 dapat dilihat bahwa penambahan massa yang paling sedikit dimiliki oleh cat dengan penambahan pigmen zinc:grafit (5:1) dengan nilai penambahan massa sebesar 0.05 miligram, sedangkan penambahan massa yang terbesar terjadi pada cat tanpa penambahan pigmen dengan nilai penambahan massa sebesar 0.11 miligram. Dan untuk sampel dengan variabel penambahan zinc:grafit (1:1) dan (3:1) masing masing



mendapatkan penambahan massa sebesar 0.08 miligram dan 0.07 miligram.



**Gambar 4.16** Grafik penambahan massa hasil proses pencelupan dalam larutan  $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$

Pada gambar 4.16 Didapatkan tren yang menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan pigmen zinc, massa yang terdeposit pada *surface coating* akan lebih sedikit dibandingkan dengan *coating* tanpa penambahan pigmen. Pada penelitian yang dilakukan oleh Meyer pada tahun 1983 menunjukkan bahwa unsur Zn memberikan efek yang kuat dalam menghambat pertumbuhan kalsit. Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Ghizellaoui pada tahun 2006, efek ion logam yang mempengaruhi pertumbuhan kalsium karbonat dengan mengurangi kecepatan nukleasi dan pertumbuhan kristal, dengan memperburuk morfologi endapan dan, dalam kasus-kasus tertentu, dengan menyebabkan pengendapan fase kurang stabil (aragonit atau vaterite) pada kalsit. Zn memberikan efek penghambatan pada kalsit dengan membentuk ukuran kristal yang lebih kecil dengan jumlah kristal yang lebih signifikan. Mekanisme inhibisi didasarkan pada energi dehidrasi ion  $\text{Zn}^{2+}$  ( $\Delta G_{\text{hyd}} \text{Zn} = -1955 \text{ KJ/mol}$ ) yang lebih

#### BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

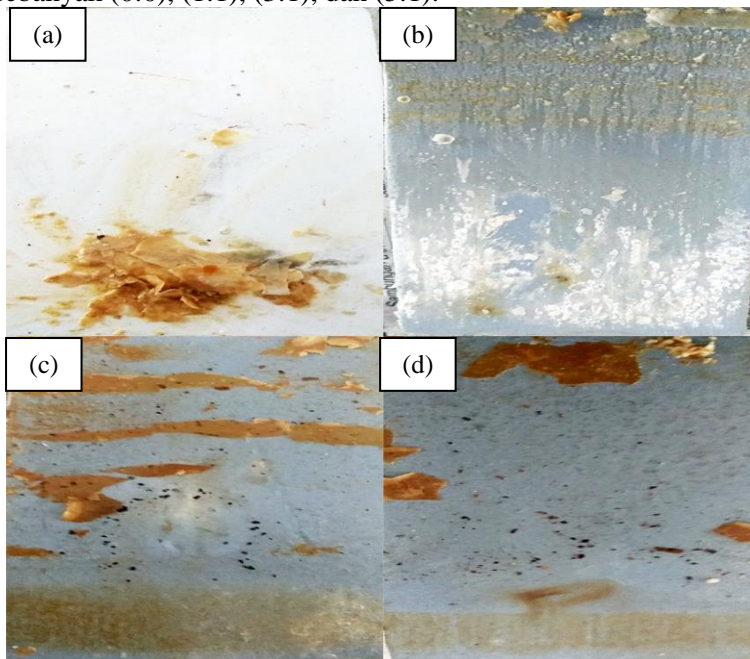




signifikan daripada ion  $\text{Ca}^{2+}$  ( $\Delta G_{\text{hyd}} \text{Ca} = -1505 \text{ KJ/mol}$ ) yang memungkinkan menghalangi pertumbuhan kalsit.

#### 4.4.3 Analisa Morfologi Pasca Immers

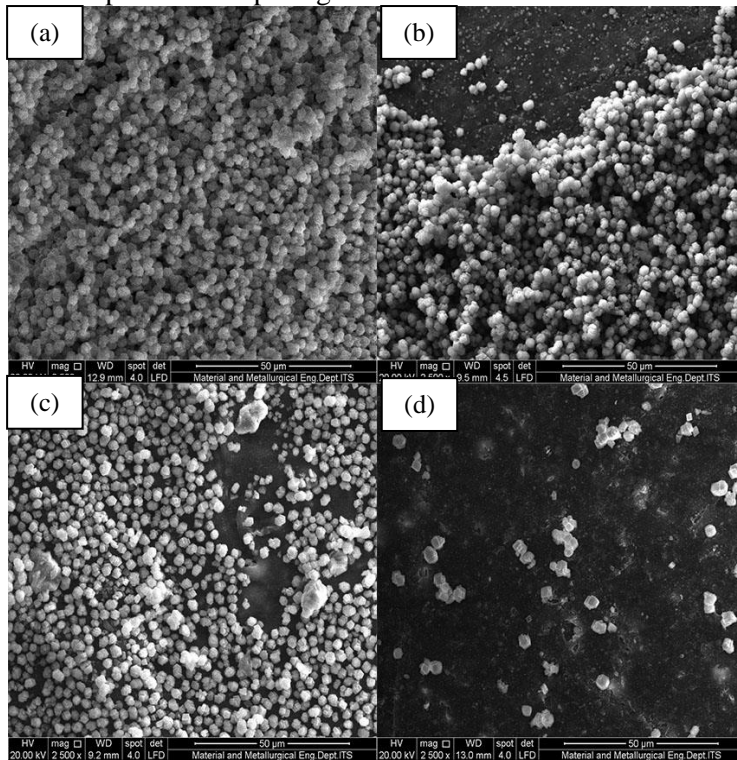
Analisa morfologi pasca immers pada penelitian ini menggunakan pengamatan secara makro dan pengamatan menggunakan SEM. Pengujian SEM dilakukan pada morfologi permukaan pasca pencelupan dalam larutan  $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$ . Pengujian SEM juga dilakukan untuk mendapatkan morfologi dari *fouling*  $\text{CaCO}_3$  serta mengetahui ukuran dari kristal  $\text{CaCO}_3$  pada tiap permukaan sampel dengan penambahan pigmen zinc:grafit sebanyak (0:0), (1:1), (3:1), dan (5:1).



**Gambar 4.17** Morfologi Makro Deposit *Fouling* Pada Lapisan *Coating* Zinc:Grafrit Permukaan Setelah Proses Pencelupan Dalam Larutan  $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$  Pada Sampel : (a) (0:0), (b) (1:1), (c) (3:1), (5:1).



Pada gambar 4.17 pengamatan secara makro pasca proses pencelupan, lapisan coating tanpa penambahan pigmen menunjukan semakin banyak nya fouling yang terdeposit pada permukaan lapisan coating. Sedangkan pada lapisan *coating* dengan penambahan pigmen zinc:grafit 1:1, 3:1, 5:1 menunjukan semakin sedikitnya *fouling*  $\text{CaCO}_3$  yang terdeposit pada permukaan *coating*. Kemudian pada pengamatan menggunakan SEM didapatkan hasil pada gambar 4.18.



**Gambar 4.18** Hasil Pengujian SEM Dengan Perbesaran 2500x Pada Lapisan *Coating* Zinc:Grafit Permukaan Setelah Proses Pencelupan Dalam Larutan  $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$  Pada Sampel : (a) (0:0), (b) (1:1), (c) (3:1), (5:1).



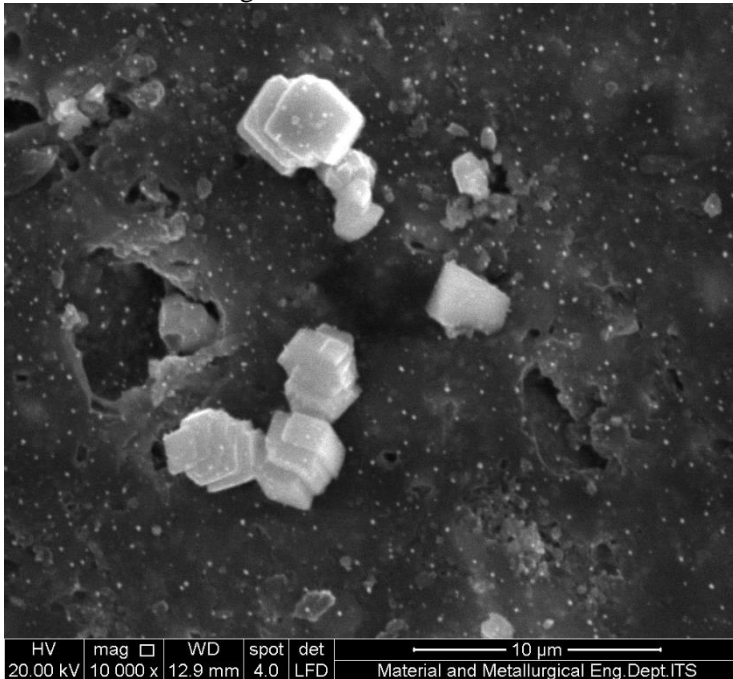
Pada gambar 4.18 Hasil pengamatan menggunakan SEM secara morfologi permukaan pasca pencelupan dalam larutan  $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$  pada lapisan *coating* zinc:grafit dengan penambahan pigmen (0:0), (1:1), (3:1), dan (5:1) menunjukkan pada bagian permukaan lapisan *coating*, yang terdeposit lebih banyak adalah pada lapisan *coating* tanpa penambahan pigmen. Sedangkan *fouling* yang terdeposit paling sedikit adalah pada penambahan pigmen zinc:grafit sebesar (5:1).

Kemudian pada pengukuran kristal  $\text{CaCO}_3$  menggunakan SEM. Didapatkan hasil pada lapisan *coating* tanpa penambahan pigmen zinc:grafit, ukuran kristal  $\text{CaCO}_3$  adalah  $2.143 \mu\text{m}$ . Pada penambahan pigmen zinc:grafit (1:1) ukuran kristal  $\text{CaCO}_3$  adalah  $1.699 \mu\text{m}$ . kemudian pada penambahan pigmen zinc:grafit (3:1), didapatkan ukuran kristal sebesar  $1.408 \mu\text{m}$ . Dan pada penambahan pigmen zinc:grafit (5:1), didapatkan ukuran kristal sebesar  $1.619 \mu\text{m}$ . Pada hasil pengamatan SEM didapatkan bahwa adanya penambahan pigmen zinc dalam lapisan *coating* dapat memperkecil struktur kristal yang terdeposit dalam permukaan lapisan *coating*.

Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Suharso dan kawan-kawan pada tahun 2009 menunjukkan penambahan aditif mampu memperkecil distribusi ukuran partikel endapan  $\text{CaCO}_3$  dan mengubah bentuk dari kristal  $\text{CaCO}_3$ . Hal ini disebabkan oleh peran inhibitor yang menghambat permukaan kristal  $\text{CaCO}_3$  melalui adsorpsi di permukaan kristal. Dengan demikian mekanisme penghambatan yang terjadi adalah melalui adsorpsi inhibitor terhadap permukaan kristal  $\text{CaCO}_3$  sehingga inti kristal sebagai unit pertumbuhan baru yang berasal dari larutan pertumbuhan kristal terhalang oleh inhibitor untuk menempel pada bibit kristal  $\text{CaCO}_3$  untuk melangsungkan pertumbuhan. Terhalangnya unit-unit pertumbuhan kristal oleh inhibitor menyebabkan laju pertumbuhan kristal  $\text{CaCO}_3$  menjadi melambat. Terhambatnya pertumbuhan kristal akan berakibat terhadap perubahan morfologi kristal. Hal ini sesuai juga dengan penelitian yang dilakukan oleh Temmam pada tahun 2000, yang



menunjukkan bahwa Zn akan menyerap pada permukaan kristal  $\text{CaCO}_3$ , proses adsorpsi dari Zn tidak hanya menurunkan laju pertumbuhan kristal  $\text{CaCO}_3$  tetapi juga mempengaruhi pertumbuhan morfologi kristal  $\text{CaCO}_3$ .



**Gambar 4.19** Hasil Pengujian SEM Dengan Perbesaran 10000x Pada Lapisan *Coating* dengan Penambahan Pigmen.

Pada gambar 4.19 menunjukkan morfologi *fouling*  $\text{CaCO}_3$  yang terdeposit pada permukaan coating menggunakan SEM dengan perbesaran 10000x. Morfologi *fouling*  $\text{CaCO}_3$  sesuai dengan apa yang sudah dipaparkan oleh Suharso pada tahun 2012 bahwa hasil geometri unit sel kalsit adalah rombohedral.

---

#### **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**



#### 4.4.4 Analisa Kekuatan Adhesi Pasca Pengujian Immers dalam Larutan $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$

Pada pengujian daya lekat atau adhesi *pull off test* pasca pencelupan dalam larutan  $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$  yang dilakukan untuk karakterisasi *fouling*  $\text{CaCO}_3$ , pada lapisan epoksi – polyurethane dengan substrat baja ASTM A36 yang terdapat variasi pada pigmen lapisan top *coating* yaitu perbandingan pigmen zinc:grafit (0:0), (1:1), (3:1), dan (5:1). Spesimen di celupkan dalam larutan  $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$  0.0025 M pada temperatur  $50^\circ\text{C}$  yang bertujuan untuk memunculkan *fouling*  $\text{CaCO}_3$  pada permukaan, kemudian dilakukan *pull off test* untuk mengetahui nilai daya lekat cat setelah dilakukan pencelupan. Setelah pencelupan pada larutan dilakukan penempelan dolly setelah itu dibiarkan kering selama satu hari, kemudian dilakukan penarikan atau *pull off test*. Dari hasil pengujian adhesi *pull off test* ini didapatkan nilai daya lekat terhadap penambahan pigmen dan merupakan nilai daya lekat cat pasca dilakukan proses immers dalam larutan  $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$  0,0025 M.

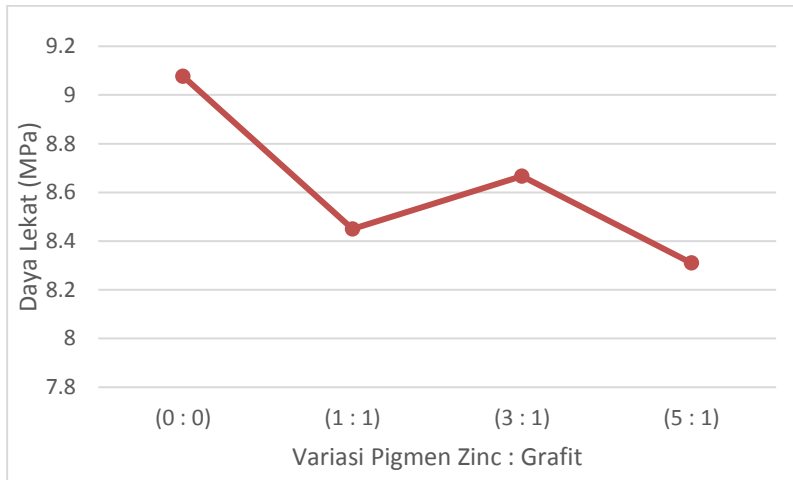
**Tabel 4.7** Nilai daya lekat terhadap variasi penambahan pigmen pasca pencelupan

No.	Variasi pigmen Zinc : grafit	Nilai Daya Lekat (MPa)	Keterangan			
		Rata rata	Adhesi	Kohesi Primer	Kohesi Top	Glue
1	(0 : 0)	9.07	-	35.63%	38.55%	25.82%
2	(1 : 1)	8.45	-	40.70%	13.03%	46.27%
3	(3 : 1)	8.66	-	54.09%	9.95%	35.96%
4	(5 : 1)	8.31	-	27.91%	-	72.07%

Berdasarkan data pada tabel 4.7 Didapatkan bahwa nilai daya lekat tertinggi terdapat pada sampel dengan perbandingan pigmen (0:0) dengan kohesi primer failure sebesar 35.63%, dan kohesi top failure sebesar 38.55%. Dan nilai daya lekat paling



rendah adalah pada sampel dengan penambahan pigmen (5:1) dengan kohesi primer failure sebesar 27.91%. Dapat dilihat *coating* dengan penambahan pigmen mengalami penurunan nilai daya lekat.



**Gambar 4.20** Grafik Nilai Daya Lekat Pasca Pencelupan dalam Larutan  $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$

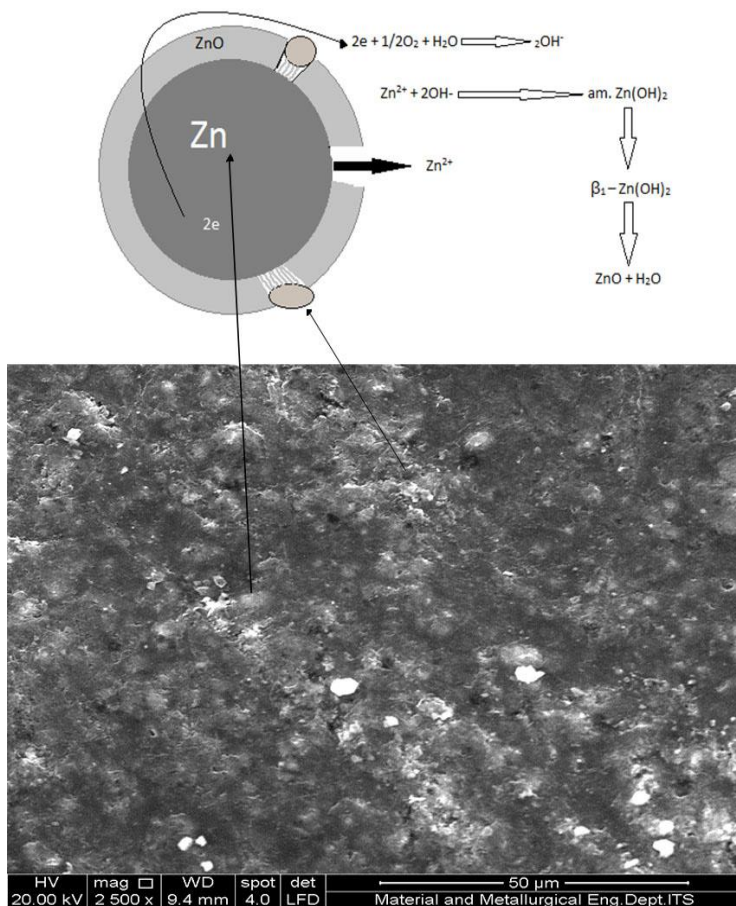
Pada gambar 4.20 didapatkan tren pengujian *pull off test* pasca proses pencelupan dalam larutan  $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$  dimana semakin menurunnya daya lekat pada penambahan pigmen zinc:grafit dengan perbandingan (0:0), (1:1), (3:1), dan (5:1). Hal ini dikarenakan teroksidasinya pigmen zinc dalam lapisan cat menjadi  $\text{ZnO}$ . Semakin bertambahnya rasio pigmen zinc:grafit, akan menurunkan daya lekat pasca pencelupan dalam lapisan *coating*. Hal ini dikarenakan semakin banyaknya pigmen zinc dalam lapisan akan semakin banyak juga zinc yang ter-*dissolution* dalam lapisan sehingga akan semakin menurunkan daya lekat lapisan. Pada penambahan rasio pigmen zinc:grafit (3:1) menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibanding pada penambahan pigmen zinc:grafit (1:1), dengan kohesif top failure 9.95% pada

#### **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**





penambahan pigmen dengan rasio (3:1). Hal ini menunjukkan pada penambahan pigmen dengan rasio (3:1), pigmen belum ter-*dissolution* seluruhnya dalam lapisan, sehingga masih memberikan penguatan dalam lapisan *coating* dan menaikkan daya lekat lapisan.



**Gambar 4.21** Skema Reaksi Yang Terjadi Pada Permukaan Zinc Partikel (Kalendova, 2003)



Pada gambar 4.21 merupakan mekanisme pelapisan berpigmen Zn, yang dikenal sebagai *Zinc Rich Paint*, yang telah banyak digunakan karena mereka menyediakan kombinasi mekanisme perlindungan katodik dan *barrier effect* yang sesuai. Perlindungan katodik terkait dengan mekanisme *dissolution* pada pigmen Zn (karena baja kurang aktif daripada Zn). Efek penghalang alami dari ZRP diperkuat oleh produk-produk korosi Zn, yang menyegel pori-pori cat (Echeverria, 2015). Pada penelitian yang dilakukan oleh Ali Olad pada tahun 2012, menunjukkan Pembentukan produk korosi dan produksi anodik partikel ZnO yang bersifat anodik, dapat menyebabkan pencegahan penetrasi oksigen maupun air terhadap permukaan besi. Kinerja perlindungan dapat meningkat dengan meningkatkan kandungan seng dan juga dengan meningkatkan jalur kontak produk oksida yang meng-passivasi melalui matriks polimer. Namun keberadaan jumlah Zn anorganik yang sangat tinggi (atau garam atau kompleks ZnO yang terkait) dalam matriks polimer organik menyebabkan hilangnya sifat mekanik dan adhesi lapisan.



---

#### BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN





B



C





D



**Gambar 4.22** Hasil Pengujian *Pull Off Test* Pada Lapisan *Coating* Zinc:Grafit Pada Sampel : (a) (0:0), (b) (1:1), (3:1), (5:1)

#### 4.5 Analisa Pengujian Potensiodynamic

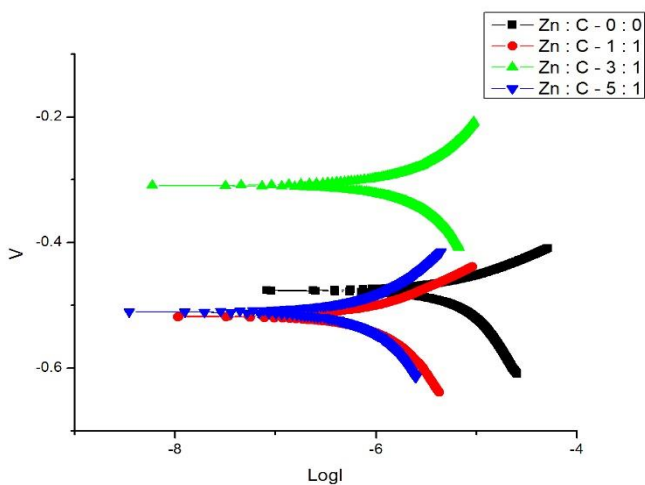
Pada pengujian *potentiodynamic* dilakukan di Laboratorium Korosi dan Analisa Kegagalan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS. Pengujian ini dilakukan dengan maksud mengetahui laju korosi pada lapisan *coating* dengan penambahan pigmen zinc:grafit (0:0), (1:1), (3:1), dan (5:1). Pada penelitian ini menggunakan alat Wuhan Corrttest Instrumen yang diolah menggunakan software Corrttest v5.5. pada penelitian ini pengujian polarisasi dilakukan pada lapisan *coating* dengan larutan  $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$  0.0025M. Parameter yang digunakan pada pengujian ini tersaji pada tabel 4.8



**Tabel 4.8** Parameter pengujian potensiodinamik

Elektroda Kerja	ASTM A36
Elektroda Bantu	Grafit
Elektroda Acuan	Ag/AgCl
Densitas( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	7.86
Luasan Terekspose( $\text{cm}^2$ )	1
Scan Rate	10

Parameter diatas diinput pada software Cortesr 5.5 untuk mendapatkan kurva tafel E vs Log(i).



**Gambar 4.23** Hasil Pengujian Tafel Pada Lapisan *Coating* Zinc:Grafit

Pada gambar 4.23 menunjukkan bahwa lapisan *coating* dengan penambahan pigmen zinc:grafit sebesar 1:1 dan 5:1, kurva

#### BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



tafel untuk kedua lapisan *coating* bergeser kearah yang lebih negatif dibandingkan pada lapisan *coating* tanpa penambahan pigmen, sedangkan pada lapisan *coating* dengan penambahan pigmen zinc:grafit (3:1), kurva tafel bergeser kearah yang lebih positif dibandingn pada lapisan *coating* tanpa penambahan pigmen. Potensial korosi pada lapisan tanpa penambahan pigmen bergeser dari -0.47637V menjadi -0.51824V, -0.30909V, dan -0.51053V. Nilai densitas arus korosi mengalami penurunan dari 8.5349 ( $10^{-8}$  A/cm<sup>2</sup>) menjadi 1.1306 ( $10^{-8}$  A/cm<sup>2</sup>), 0.70528 ( $10^{-8}$  A/cm<sup>2</sup>), dan 0.40703 ( $10^{-8}$  A/cm<sup>2</sup>) berturut turut pada lapisan *coating* dengan penambahan pigmen zinc:grafit (1:1), (3:1), dan (5:1).

**Tabel 4.9** Hasil Uji Potensiodinamik Lapisan *Coating*

No	Perbandingan Zinc:grafit	Ecorr (V)	Icorr ( $10^{-8}$ A/cm <sup>2</sup> )	CR (mmpy)	Efisiensi (%)
1	0 : 0	-0.47637	8.5349	2.7892E-04	-
2	1 : 1	-0.51824	1.1306	3.6948E-05	86.75
3	3 : 1	-0.30909	0.70528	2.3049E-05	91.74
4	5 : 1	-0.51053	0.40703	1.3302E-05	95.23

Pada tabel 4.9 Didapatkan beberapa parameter seperti Icorr, efisiensi, dan laju korosi. Terlihat ketika perbandingan penambahan pigmen zinc:grafit semakin banyak, maka Icorr mengalami penurunan, dan laju korosi mengalami penurunan seiring dengan penambahan pigmen zinc:grafit. Nilai efisiensi tertinggi terletak pada penambahan pigmen zinc:grafit dengan perbandingan (5:1) yaitu 95.23%. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Ali Olad pada tahun 2012 menunjukkan bahwa semakin meningkatnya kandungan zinc pada lapisan akan

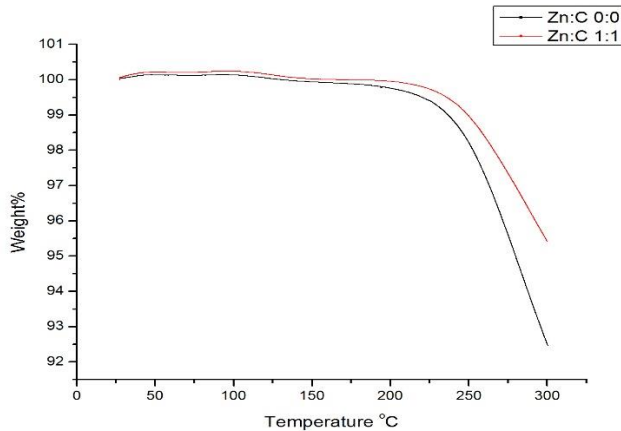
#### **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**



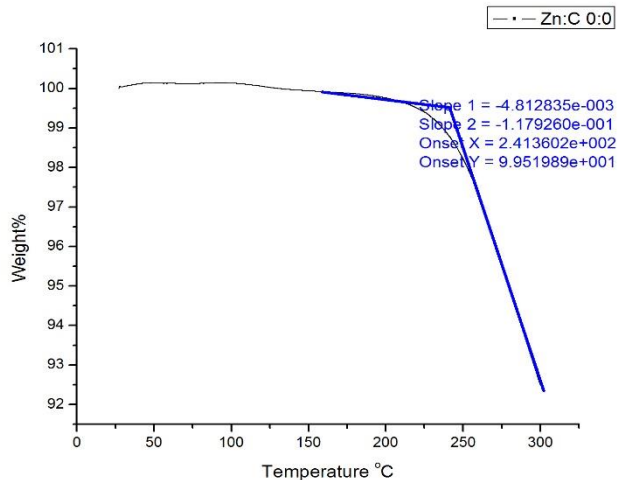
menurunkan densitas arus korosi atau Icorr pada lapisan *coating*. Adanya partikel zinc akan mempercepat proses passivasi dan produk passivasi tersebut akan meningkatkan efek penghalang pada lapisan. Kemudian pada penelitian yang dilakukan oleh Zhang pada tahun 2012 menunjukkan bahwa kepadatan yang dimiliki oleh lapisan *coating* akan menghambat masuknya media yang agresif ke substrat, dan akan meningkatkan potensial korosi. Nilai potensial korosi ( $E_{corr}$ ) yang lebih positif pada lapisan *coating* maka proses korosi yang terjadi pada substrat dapat lebih dihambat oleh lapisan *coating*.

#### 4.6 Analisa Thermal Coating

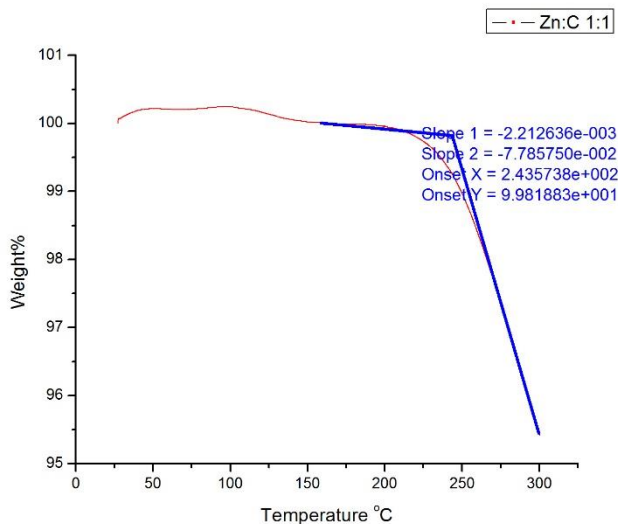
Pengujian TGA ditujukan untuk mengetahui degradasi material akibat kenaikan temperatur. Hasil yang diperoleh dari TGA dapat digunakan untuk menyatakan batas temperature kerja dari material sebelum mengalami degradasi. Temperatur pemanasan yang digunakan pada penelitian ini adalah 27 - 300 °C. Gambar 4.24 Menunjukkan kurva *thermogravimetric analysis* (TGA) dari lapisan *coating* epoksi – poliuretan tanpa penambahan pigmen zinc:grafit dan lapisan *coating* epoksi – poliuretan dengan penambahan pigmen zinc:grafit (1:1). Kurva *thermogravimetric analysis* (TGA) dari variasi penambahan pigmen zinc:grafit menunjukan penurunan presentase massa terhadap kenaikan temperatur.



**Gambar 4.24** Grafik Kurva *Thermogravimetric Analysis* (TGA) dari Lapisan *Coating* Epoksi – Poliuretan dengan Variasi Penambahan Pigmen Zinc:grafit



**Gambar 4.25** Grafik Kurva  $T_{onset}$  pada Lapisan *Coating* Epoksi – Poliuretan dengan Variasi Penambahan Pigmen Zinc:grafit 0:0



**Gambar 4.26** Grafik Kurva  $T_{\text{onset}}$  pada Lapisan *Coating* Epoksi – Poliuretan dengan Variasi Penambahan Pigmen Zinc:grafit 1:1

Dari kurva TGA pada gambar 4.24 , pada temperatur 100 -180 °C pada kedua lapisan *coating* terjadi penurunan masa awal akibat adanya unsur volatile pada *coating* dan juga adanya kelembaban pada material tersebut. Pada lapisan *coating* tanpa penambahan pigmen zinc:grafit,  $T_{\text{onset}}$  terjadi pada temperatur 241 °C. kemudian pada lapisan *coating* dengan penambahan pigmen zinc:grafit 1:1,  $T_{\text{onset}}$  terjadi pada temperatur 243 °C. Pada penelitian yang dilakukan oleh Su Chen pada tahun 2006 menunjukan bahwa epoksi – poliuretan resin memiliki ketahanan termal yang lebih tinggi dibanding resin poliuretan. Hal ini dikarenakan adanya ikatan *cross-linking* antara poliuretan dengan epoksi yaitu ikatan hydrogen pada epoksi. Kemudian pada lapisan *coating* tanpa penambahan pigmen zinc:grafit terdekomposisi sebesar 5% pada temperatur 279 °C. Berbeda dengan lapisan *coating* dengan penambahan pigmen zinc:grafit 1:1, lapisan *coating* mulai terdekomposisi sebesar 5% ketika temperatur

#### BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



sebesar 300 °C. Hal ini dikarenakan adanya penambahan grafit yang memiliki sifat tahan thermal yang baik. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Feng pada tahun 2016, penambahan grafit dapat meningkatkan stabilitas thermal suatu komposit. Hal ini dikarenakan grafit bertindak sebagai penghalang pada permukaan komposit, dan akan meningkatkan degradasi thermal dan mencegah dekomposisi pada unsur polimer.

---

#### **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**





*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil dan analisis yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa :

1. Penambahan zinc dalam zinc – graphite pigmen pada lapisan *coating* dapat menghambat pertumbuhan *fouling*  $\text{CaCO}_3$ , dengan cara mengurangi kecepatan nukleasi, memperburuk morfologi endapan, dan membentuk ukuran kristal yang lebih kecil seiring dengan adanya pigmen zinc dalam lapisan *coating*. Pada penelitian didapatkan pengaruh penambahan pigmen zinc:grafit 0:0, 1:1, 3:1 dan 5:1 dalam pengukuran kristal  $\text{CaCO}_3$  berturut-turut adalah sebesar 2.143  $\mu\text{m}$ , 1.699  $\mu\text{m}$ , 1.408  $\mu\text{m}$ , dan 1.619  $\mu\text{m}$ .
2. Penambahan zinc dalam zinc – graphite pigmen pada lapisan *coating* dapat meningkatkan daya lekat *coating*, menurunkan kekuatan tekuk pada lapisan *coating* jika dibandingkan dengan sampel tanpa penambahan pigmen, meningkatkan ketahanan abrasi, meningkatkan ketahanan korosi, dan meningkatkan ketahanan thermal dari lapisan *coating* dengan penambahan pigmen zinc:grafit.

#### **5.2 Saran**

1. Dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai lapisan *coating* yang memiliki ketahanan terhadap *fouling* dengan metode *conventional airspray*.
2. Penggunaan variabel dengan perbedaan yang signifikan dengan penggunaan data yang lebih banyak untuk menemukan data yang lebih tepat.



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*





## DAFTAR PUSTAKA

- Afifi, M. A. (2014). Corrosion Behavior of Zinc-Graphite Metal Matrix Composite in 1M of HCl. *ISRN Corrosion*, 1-9.
- Antony, A. (2011). Scale formation and control in high pressure membrane water treatment system. *Journal of Membrane Science*, 1-16.
- Arman, S. (2013). Application of the electrochemical noise to investigate the corrosion resistance of an epoxy zinc-rich coating loaded with lamellar aluminum and micaceous iron oxide particles. *Corrosion Science*.
- Asnawati. (2001). Pengaruh Temperatur Terhadap Reaksi Fosfonat dalam Inhibitor Kerak pada Sumur Minyak. *Jurnal ILMU DASAR Vol 2*, 20-26.
- Axelsen, S. B., & Rossland, T. (2008). Topcoat Flaking - A Mechanism Study. Part 1: Laboratory Testing - Internal Stress, Mechanical Properties, Adhesion and Ageing. *NACE International Corrosion Conference & Expo*, 1-14.
- Baczoni, A., & Molnar, F. (2011). Advanced Examination of Zinc Rich Primers with Thermodielectric Spectroscopy. *Acta Polytechnica Hungarica*, 43-51.
- Bhatia, A. (2003). *Cooling Water Problems and Solutions*. New York: Continuing Education and Development, Inc.
- Buxbaum, G. (2005). *Industrial Inorganic Pigment*. Weinheim: WILEY VCH.
- Chen, S. (2006). Epoxy Resin/Polyurethane Hybrid Networks Synthesized by Frontal Polymerization. *Chem. Mater*, 2159-2163.
- Echeverria, M., & Abreu, C. M. (2015). On the Role of Zn Pigments Against Natural and Cathodic Overprotection Disbondment Of a Multilayer Paint System. *Corrosion Science Section*, 1330-1341.
- Euvrand, M. (2004). Crystallization of calcium carbonate at a solid / liquid interface examined by reflection of a laser beam. *Journal of Crystal Growth*, 322-330.



- Feng, C. P., & Ni, H. (2016). A facile method to fabricate highly thermally conductive graphite/PP Composite with network structures. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 1-23.
- Forsgren, A. (2017). *Corrosion Control through Organic Coatings*. Boca Raton: CRC Press.
- Freij, S. J. (2005). Crystal growth and dissolution processes at the calcite–water. *Journal of Crystal Growth*, 535-545.
- Ghizellaoui, S. (2007). Inhibition of scaling in the presence of copper and zinc by various chemical processes. *Desalination*, 185-197.
- Ghizellaoui, S. (2008). Assessing the effect of zinc on the crystallization of calcium carbonate. *Desalination*, 394-402.
- Giudice, C. A., & Canosa, G. (2013). Hybrid Finishing *Coatings Applied. on Laminar Zinc*, A-G.
- Glasner, A. (1979). The crystallization of calcite from aqueous solutions and the role of zinc and magnesium ions precipitation of calcite in the presence of  $Zn^{2+}$  ions. *Inorganic Chemical*, 655-663.
- Goldschmidt, A. (2007). *Basics of Coating Technology*. Münster: BASF Coatings AG.
- Gunnlaugsson, E. (2014). Problems in Geothermal Operation Scaling and Corrosion. *UNU-GTP and LaGeo*, 4-12.
- Islam, M. (2014). Influence of metal surface preparation on its surface profile, contact angle, surface energy and adhesion with glass fiber prepreg. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 32-41.
- Jadhav, N., & Vetter, C. A. (2013). The effect of polymer morphology on the performance of a corrosion inhibiting polypyrrole/aluminum flake composite pigment. *Electrochimica Acta*, 28-43.
- Jagtap, R. (2008). Effect of zinc oxide in combating corrosion in zinc-rich primer. *Progress in Organic Coatings*, 389-394.
-



- Jamialahmadi, M.-s. (2007). Heat Exchanger *Fouling* and Cleaning in the Dihydrate Process for the Production of Phosphoric Acid. *Chemical Engineering Research Design*, 245-255.
- Jones, F. N., Nichols, M. N., & Pappas, S. P. (2017). *Organic Coating Science and Technology Fourth Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, inc.
- Juergen H. Braun. (1992). TiO<sub>2</sub> pigment technology: a review. *Progress in Organic Coatings*, 105-138.
- Kalaitzidou, K. (2007). A new compounding method for exfoliated graphite - polypropylene nanocomposites with enhanced flexural properties and lower percolation threshold. *Composites Science and Technology*, 2045-2051.
- Kalendová, A. (2003). Effects of particle sizes and shapes of zinc metal on the properties of anticorrosive coatings. *Progress in Organic Coatings*, 324-332.
- Khanna, A. S. (2008). *High Performance Organic Coatings*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Khorasanizadeh, S. (2010). The Effects of Shot and Grit Blasting Process Parameters on Steel Pipes Coating Adhesion. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 1493-1501.
- Knudsen, O. Ø. (2005). Zinc-rich primers—Test performance and electrochemical properties. *Progress in Organic Coatings*, 224-229.
- Koleske, J. V. (1995). *Paint and Coating Testing Manual Fourteenth Edition of the Gardner-Sward Handbook*. Philadelphia: American Society for Testing Materials.
- Krol, P. (2007). Synthesis methods, chemical structures and phase structures of linear polyurethanes. Properties and applications of linear polyurethanes in polyurethane elastomers, polyurethanes in polyurethane elastomers,. *Progress in Materials Science*, 915-1015.
- Lambourne, R. (1999). *Paint and Surface Coatings*. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd.
-



- Li, J. H., & Hong, R. Y. (2009). Effects of ZnO nanoparticles on the mechanical and antibacterial properties of polyurethane coatings. *Progress in Organic Coatings*, 504-509.
- Meyer, H. J. (1984). The influence of impurities on the growth rate of calcite. *Journal of Crystal Growth*, 639-646.
- Mitrovic , S., Babic, M., & Stojanovic, B. (2011). Tribological potencial of hybrid composites based on zinc and aluminium alloys reinforced with SiC and Graphite particles. *12th International Conference on Tribology*, 138-145.
- Nakazawa, M. (1994). Mechanism of adhesion of epoxy resin to steel surface. *Nippon Steel Technical Report*, 16-22.
- Nematollahi, M., Heidarian, M., & Peikari, M. (2010). Comparison between the effect of nanoglass flake and montmorillonite organoclay on corrosion performance of epoxy coating. *Corrosion Science*, 1809-1817.
- Olad, A. (2011). Conductivity and anticorrosion performance of polyaniline/zinc composites: investigation of zinc particle size and distribution effect. *Progress in Organic Coating*, 599-604.
- Olad, A. (2012). Preparation of PANI/epoxy/Zn nanocomposites using Zn nanoparticles and epoxy resin as additives and investigation of its corrosion protection behavior on iron. *Progress in Organic Coating*, 221-227.
- Rafferty, K. (1989). *Geothermal District Piping-A primer*. Oregon: Geo Heat Center.
- Roberge, P. (2008). *Corrosion Engineering Principles and Practice*. Chicago: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Sari, R. P. (2011). *Studi Penanggulangan Problem Scale dari Near-Wellbore* . Depok: FT UI.
- Seah, K. H. (1995). Mechanical properties of cast ZA-27/Graphite particulate composites. *Material & Design*, 271-275.
-





- Shang, Y., & Zhao, Y. (2017). The effect of micron-graphite particle size on the mechanical and tribological properties of PEEK composites. *High Performance Polymers*, 1-8.
- Sharmin, E. (2007). Synthesis, characterization, antibacterial and corrosion protective properties of epoxies, epoxy-polyols and epoxy-polyurethane coatings from linseed and Pongamia glabra seed oils. *International Journal of Biological Macromolecules*, 407-422.
- Siswoyo, K. E. (2005). *Identifikasi Pembentukan Scale*. Yogyakarta: UPN Veteran Yogyakarta.
- Suharso. (2009). Peranan C-metil-4 10,16,22 tetrametoksi kaliks arena sebagai inhibitor pembentukan kerak kalsium karbonat. *Indo J. Chem*, 206-210.
- Suharso. (2010). The Use of Gambier Extracts from West Sumatra as a Green Inhibitor of Calcium Sulfate Scale Formation. *Asian Journal Research Chemistry*, 183-187.
- Suharso. (2012). *Penanggulangan Kerak*. Lampung: Lembaga Penelitian Universitas Lampung.
- Temmam, M. (2000). Mn and Zn incorporation into calcite as a function of chloride aqueous concentration. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 64, No. 14, 2417-2430.
- Vahabi, H. (2018). Flame retardant epoxy/halloysite nanotubes nanocomposite coatings: Exploring low-concentration threshold for flammability compared to expandable graphite as superior fire retardant. *Progress in Organic Coatings*, 8-14.
- Vesely, D. (2010). Optimisation Of The Corrosion-Inhibition Efficiency Of Zinc-Pigmented Paint Films By Means Of Non-Isometric Silicates. *Transfer inovacii*, 124-126.
- Wang, G. (2011). Zinc-graphite composite coating for anti-fouling application. *Materials Letters*, 3095-3097.
- Wang, G. (2012). Galvanic corrosion of Ni-Cu-Al composite coating and its anti-fouling property for metal pipeline in simulated geothermal water. *Surface & Coatings Technology*, 3728-3732.
-



*Laporan Tugas Akhir*  
*Departemen Teknik Material FTI-ITS*

---

- Wicaksono, S. A. (2015). *Pengaruh Penambahan Aluminium Terhadap Daya Adhesi dan Ketahanan Korosi Cat Epoksi*. Surabaya: FTI ITS.
- Wicks, Z. W. (2007). *Organic Coatings Science and Technology*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Zhang, L., & Ma, A. (2012). Anti-corrosion performance of waterborne Zn-rich *coating* with modified silicon-based vehicle and lamellar Zn (Al) pigments. *Progress in Natural Science: Materials International*, 326-333.



## LAMPIRAN TECHNICAL DATA SHEET

### A. TDS Penguard Primer

#### Data Teknis



#### Penguard Primer

##### Uraian Produk

Penguard Primer adalah primer epoxy dan komponen berbahan dasar resin epoxy dengan berat molekular tinggi. Produk ini adalah bagian dari sebuah sistem lengkap yang telah mendapat sertifikat sebagai bahan yang tidak menghantarkan api pada permukaan.

##### Rekomendasi penggunaan

Sebagai primer pada sistem pengecatan untuk perlindungan terhadap korosi pada baja dan permukaan lainnya.

##### Ketebalan dan daya sebar

	Minimum	Maksimum	Tipikal
Ketebalan kering (µm)	40	60	50
Ketebalan basah (µm)	80	120	100
Daya sebar teoritis (m <sup>2</sup> /l)	12,8	8,5	10,2

##### Sifat-Sifat fisik

Warna	Merah
Kekentalan (vol 40)*	51 ± 2
Titik bakar	25°C ± 2 (Setflash)
VOC	420 gms/ltr UK-PG6/23 (97) Lampiran 3
Tingkat Kilap	Flat
Kekakuan Terhadap Air	Sangat Baik
Kekakuan terhadap abrasi	Sangat Baik
Kekakuan terhadap Pelarut	Sempurna
Kekakuan terhadap bahan kimia	Sempurna
Flexibilitas	Baik

\*Diukur menurut ISO 3233:1998 (E)

##### Persiapan permukaan

Seluruh permukaan harus bersih, kering dan bebas dari kontaminasi. Permukaan harus diperiksa dan dipersiapkan sesuai dengan ISO 8504.

##### Besi/Baja

Standar Kebersihan: Pembersihan dengan blasting sampai dengan Sa 2½ (ISO 8501-1:2007). Kekasaran: gunakan material abrasif yang sesuai untuk mencapai tingkat Halus hingga Sedang G (30-85 µm, Ry 5) (ISO 8503-2).

##### Baja yang telah dishopprimer

Harus bersih, kering dan tidak ada kerusakan pada shopprimer.

##### Permukaan yang telah dicat

Harus bersih, kering dan tidak ada kerusakan pada primer. Untuk informasi lebih lanjut dapat menghubungi PT. Jotun Indonesia.

##### Permukaan lainnya

Untuk aluminium dan permukaan galvanis, hilangkan minyak, gosok secara ringan, dan lakukan sand sweeping. Untuk baja tahan karat, gosok secara ringan atau lakukan sweep blasting menggunakan material



## Laporan Tugas Akhir

### Departemen Teknik Material FTI-ITS

abrasive yang tidak terbuat dari logam dan bebas klorida.

Pengacatan dapat digunakan pada permukaan lainnya. Untuk informasi lebih lanjut dapat menghubungi PT. Jotun Indonesia.

#### Kondisi selama aplikasi

Suhu permukaan minimum 10°C dan setidaknya 3°C di atas titik embun udara, suhu dan kelembaban diukur di sekitar permukaan. Ventilasi yang baik sangat diperlukan pada area tertutup untuk pengeringan cat secara benar. Lapisan cat jangan terkena minyak, zat kimia atau tegangan mekanis sampai lapisan cat tersebut telah seluruhnya mengering. Jika perlu Penguard Stayw, Penguard Primer, Penguard HB, Penguard Special dapat digunakan hingga suhu 2°C namun hanya jika akselerator khusus digunakan.

#### Metode Aplikasi

Spray                      Gunakan airless spray  
Kuas                        Digunakan pada area yang sulit dijangkau (*stripe coating*) dan pada area yang kecil, pastikan ketebalan kering tercapai sesuai dengan ketebalan yang telah ditentukan.

#### Data aplikasi

Rasio Pencampuran (volume)	4:1
Pencampuran	4 bagian Komponen A (base) dicampur secara merata dengan 1 bagian Penguard, Komponen B (agen pengering)
Waktu tunggu setelah pencampuran	30 menit
Umur Cat Setelah Pencampuran (23°C)	8 jam (dapat berkurang pada suhu yang lebih tinggi)
Pembersih/Pengencer	Thinner Jotun No.17. Jangan gunakan thinner pada saat dipakai pada tanki air minum
Petunjuk Penggunaan Airless Spray	
Tekanan udara nozzle	15 Mpa (150 kp/cm <sup>2</sup> , 2100 psi)
Ukuran Nozzle	0,46-0,58 mm (0,018-0,023")
Sudut Semprot	40°-60°
Filter	Periksa filter agar selalu bersih

#### Waktu pengeringan

Secara umum waktu pengeringan dipengaruhi oleh sirkulasi udara, suhu, dan ketebalan cat. Angka yang diberikan dalam tabel biasanya terkait dengan:

- \* Ventilasi yang baik (atau dilakukan di luar ruangan atau pada sirkulasi udara bebas)
- \* Ketebalan sesuai standar yang direkomendasikan
- \* Satu lapisan di atas permukaan yang direkomendasikan

Suhu substrat	10°C	23°C	40°C
Kering Sentuh (jam)	2	1	0,5
Kering Sempurna (jam)	14	6,5	3
Kering (hari)	14	7	3
Minimum aplikasi berikutnya (jam)	8	4	3
Maksimum aplikasi berikutnya <sup>1</sup>			

1. Asalkan permukaan bebas dari pengapuran dan kontaminasi lainnya sebelum pemakaian, biasanya tidak akan ada batasan waktu untuk melakukan pengacatan ulang. Namun demikian, tarik-menarik kuat antar lapisan terjadi jika lapisan berikutnya diberikan sebelum lapisan sebelumnya kering. Jika lapisan telah terkena sinar matahari secara langsung selama beberapa waktu, permukaan harus dibersihkan dan lapisan permukaan dilepaskan agar terjadi proses perekatan yang baik.

Data tersebut di atas hanya sebagai acuan. Waktu pengeringan sebenarnya/waktu sebelum pengacatan ulang dapat berubah menjadi lebih lama atau lebih singkat tergantung pada ketebalan, ventilasi, kelembaban, sistem pengacatan dasar yang digunakan, penyusutan untuk penanganan lebih awal dan kekuatan mekanis dan lain-lain. Suatu sistem yang lengkap akan diuraikan pada lembar sistem, yang mana semua parameter dan kondisi khusus dapat disertakan.

#### Tipikal sistem pengacatan



## Laporan Tugas Akhir

### Departemen Teknik Material FTI-ITS

---

Penguard Primer	1 x 50 µm	(Ketebalan Kering)
Penguard HB	1 x 100 µm	(Ketebalan Kering)
Penguard Topcoat	1 x 50 µm	(Ketebalan Kering)

Sistem lainnya dapat disesuaikan berdasarkan area penggunaan

---

#### Penyimpanan

Produk harus disimpan sesuai dengan peraturan yang berlaku. Dimana tempat penyimpanan cat harus dalam ruangan yang kering, sejuk, dan memiliki ventilasi yang baik, serta jauh dari sumber panas atau api. Kaleng cat harus ditutup rapat.

---

#### Penanganan

Tangani dengan hati-hati. Aduk rata sebelum digunakan.

---

#### Ukuran kemasan

16 liter Komponen A (base) dalam kaleng 20 liter dan 4 liter Penguard, liter Komponen B (Agen pengering) dalam kaleng 5 liter.

atau

4 liter Komponen A (base) dalam kaleng 5 liter dan 1 liter Penguard, Komponen B (Agen Pengering) dalam kaleng 1 liter.

---

#### Kesehatan dan Keselamatan

Perhatikan tanda keselamatan atau kesehatan pada label kaleng. Gunakan cat pada kondisi ber ventilasi baik. Jangan menghirup kabut/uap cat. Hindari kontak langsung dengan kulit. Tumpahan pada kulit harus segera dicuci bersih dengan air dan sabun. Jika terkena pada mata, berilah dengan air dan perawatan medis harus segera dilakukan.

Untuk informasi rinci mengenai bahaya terhadap kesehatan dan keselamatan dan tindakan pencegahan dalam menggunakan produk ini, kami merujuk pada Lembar Keselamatan Data (MSDS).

---

#### SANGGAHAN

Informasi dalam lembar data ini diberikan sejauh pengetahuan terbaik kami yang didasarkan pada pengujian di laboratorium dan pengalaman praktis. Namun, karena produk ini seringkali digunakan pada kondisi yang berada diluar kendali kami, kami tidak dapat menjamin apapun kecuali mutu dari produk itu sendiri. Kami berhak untuk merubah data yang diberikan tanpa pemberitahuan.

Jotun adalah Perusahaan Kelas Dunia dengan pabrik, kantor penjualan, dan gudang penyimpanan di lebih dari 50 negara. Untuk alamat Jotun di daerah anda, harap hubungi perwakilan regional terdekat atau kunjungi situs kami di [www.jotun.com](http://www.jotun.com)

DIKELUARKAN TANGGAL 6 DESEMBER 2007 OLEH JOTUN  
LEMBAR DATA INI MENGGANTIKAN LEMBAR DATA YANG DIKELUARKAN SEBELUMNYA



## B. Hardtop XP



### Hardtop XP

#### Product description

This is a two component chemically curing aliphatic acrylic polyurethane coating. It has a glossy finish with very good gloss retention. It is a high solids product. The product has good application properties with low dry spray. To be used as topcoat in atmospheric environments.

#### Typical use

**Marine:**  
Recommended for topside, deck and superstructure.

**Protective:**  
Recommended for offshore environments, refineries, power plants, bridges and buildings. Suitable for a wide range of industrial structures. Used as a topcoat in pre-qualified NORSOK systems.

#### Approvals and certificates

NORSOK System 1, Rev.5  
Grain, Newcastle Occupational Health  
Food, Compliant with USA, FDA Title 21, Part 175.300 for dry solids

When used as part of an approved scheme, this material has the following certification:  
- Low Flame Spread in accordance with EU Directive for Marine Equipment. Approved in accordance with parts 5 and 2 of Annex 1 of IMO 2010 FTP Code, or Parts 5 and 2 of Annex 1 of IMO FTPC when in compliance with IMO 2010 FTP Code Ch. 8

Consult your Jotun representative for details.  
Additional certificates and approvals may be available on request.

#### Other variants available

Hardtop XP Alu  
Hardtop XPL  
Hardtop XPF (Winter grade version)  
Refer to separate TDS for each variant.

#### Colours

according to colour card and Multicolor Industry tinting system (MCI)

#### Product data

Property	Test/Standard	Description
Solids by volume	ISO 3233	63 ± 2 %
Gloss level (GU 60 °)	ISO 2813	gloss (70-85)
Flash point	ISO 3679 Method 1	30 °C
Density	calculated	1,4 kg/l
VOC-US/Hong Kong	US EPA method 24 (tested)	336 g/l
VOC-EU	IED (2010/75/EU) (calculated)	336 g/l
VOC-China	GB/T 23985-2009 (ISO 11890-1) (tested)	336 g/l

The provided data is typical for factory produced products, subject to slight variation depending on colour.



## Laporan Tugas Akhir

### Departemen Teknik Material FTI-ITS

#### Technical Data Sheet

##### Hardtop XP



All data is valid for mixed paint.  
Gloss description: According to Jotun Performance Coatings' definition.

#### Film thickness per coat

##### Typical recommended specification range

Dry film thickness	50 - 100 $\mu\text{m}$
Wet film thickness	80 - 160 $\mu\text{m}$
Theoretical spreading rate	12,6 - 6,3 $\text{m}^2/\text{l}$

Bright colours may need film thickness in the high end of the recommended specification range to achieve opacity.

Special effect colours may have diverging specification range. Refer to the Application Guide (AG) for additional information or contact your nearest Jotun office.

#### Surface preparation

To secure lasting adhesion to the subsequent product all surfaces shall be clean, dry and free from any contamination.

##### Surface preparation summary table

Substrate	Surface preparation	
	Minimum	Recommended
Coated surfaces	Clean, dry and undamaged compatible coating (ISO 12944-4 6.1)	Clean, dry and undamaged compatible coating (ISO 12944-4 6.1)

#### Application

##### Application methods

The product can be applied by

Spray:	Use air spray or airless spray.
Brush:	Recommended for stripe coating and small areas. Care must be taken to achieve the specified dry film thickness.
Roller:	May be used. Care must be taken to achieve the specified dry film thickness.

##### Product mixing ratio (by volume)

Hardtop XP Comp A	10 part(s)
Hardtop XP Comp B	1 part(s)



## Laporan Tugas Akhir

### Departemen Teknik Material FTI-ITS

#### Technical Data Sheet

##### Hardtop XP



#### Thinner/Cleaning solvent

Thinner: Jotun Thinner No. 10 / Jotun Thinner No. 26

Jotun Thinner No. 26 is supplied and used in USA due to legislation.

#### Guiding data for airless spray

Nozzle tip (inch/1000): 13-19

Pressure at nozzle (minimum): 150 bar/2100 psi

#### Guiding data for air spray

Nozzle tip (inch/1000): 11-19 (HVL) / 1.1-1.9 mm (pressure pot)

Pressure at nozzle (minimum): 2.1 bar/30 psi (HVL) / 2.1 bar/30 psi (pressure pot)

#### Drying and Curing time

Substrate temperature	5 °C	10 °C	23 °C	40 °C
Surface (touch) dry	16 h	6 h	3.5 h	2 h
Walk-on-dry	24 h	14 h	7 h	4 h
Dry to over coat, minimum	24 h	14 h	7 h	4 h
Dried/cured for service	21 d	14 d	7 d	3 d

Drying and curing times are determined under controlled temperatures and relative humidity below 85 %, and at average of the DFT range for the product.

Surface (touch) dry: The state of drying when slight pressure with a finger does not leave an imprint or reveal tackiness.

Walk-on-dry: Minimum time before the coating can tolerate normal foot traffic without permanent marks, imprints or other physical damage.

Dry to over coat, minimum: The shortest time allowed before the next coat can be applied.

Dried/cured for service: Minimum time before the coating can be permanently exposed to the intended environment/medium.

#### Induction time and Pot life

Paint temperature	23 °C
Pot life	1.5 h





## Laporan Tugas Akhir

### Departemen Teknik Material FTI-ITS

#### Technical Data Sheet

##### Hardtop XP



#### Heat resistance

	Temperature	
	Continuous	Peak
Dry, atmospheric	120 °C	140 °C

Peak temperature duration max. 1 hour.

The temperatures listed relate to retention of protective properties. Aesthetic properties may suffer at these temperatures.

#### Product compatibility

Depending on the actual exposure of the coating system, various primers and topcoats can be used in combination with this product. Some examples are shown below. Contact Jotun for specific system recommendation.

Previous coat: epoxy, zinc epoxy, epoxy mastic, polyurethane

#### Packaging (typical)

	Volume (litres)	Size of containers (litres)
Hardtop XP Comp A	4.55 / 18.2	5 / 20
Hardtop XP Comp B	0.45 / 1.8	1 / 3

The volume stated is for factory made colours. Note that local variants in pack size and filled volumes can vary due to local regulations.

#### Storage

The product must be stored in accordance with national regulations. Keep the containers in a dry, cool, well ventilated space and away from sources of heat and ignition. Containers must be kept tightly closed. Handle with care.

#### Shelf life at 23 °C

Hardtop XP Comp A	48 month(s)
Hardtop XP Comp B	48 month(s)

In some markets commercial shelf life can be dictated shorter by local legislation. The above is minimum shelf life, thereafter the paint quality is subject to re-inspection.



## Laporan Tugas Akhir

### Departemen Teknik Material FTI-ITS

---

#### Technical Data Sheet

##### Hardtop XP



#### Caution

This product is for professional use only. The applicators and operators shall be trained, experienced and have the capability and equipment to mix/stir and apply the coatings correctly and according to Jotun's technical documentation. Applicators and operators shall use appropriate personal protection equipment when using this product. This guideline is given based on the current knowledge of the product. Any suggested deviation to suit the site conditions shall be forwarded to the responsible Jotun representative for approval before commencing the work.

#### Health and safety

Please observe the precautionary notices displayed on the container. Use under well ventilated conditions. Do not inhale spray mist. Avoid skin contact. Spillage on the skin should immediately be removed with suitable cleanser, soap and water. Eyes should be well flushed with water and medical attention sought immediately.

#### Colour variation

When applicable, products primarily meant for use as primers or antifoulings may have slight colour variations from batch to batch. Such products may fade and chalk when exposed to sunlight and weathering.

#### Disclaimer

The information in this document is given to the best of Jotun's knowledge, based on laboratory testing and practical experience. Jotun's products are considered as semi-finished goods and as such, products are often used under conditions beyond Jotun's control. Jotun cannot guarantee anything but the quality of the product itself. Minor product variations may be implemented in order to comply with local requirements. Jotun reserves the right to change the given data without further notice.

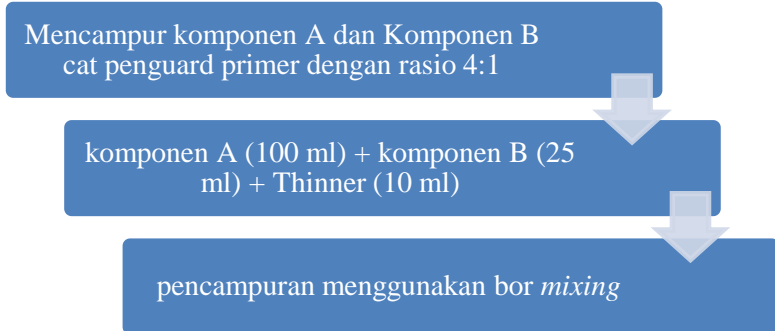
Users should always consult Jotun for specific guidance on the general suitability of this product for their needs and specific application practices.

If there is any inconsistency between different language issues of this document, the English (United Kingdom) version will prevail.



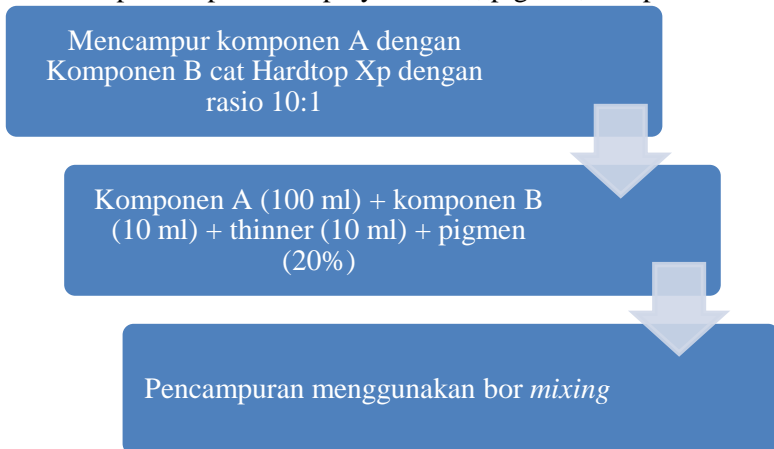
### LAMPIRAN SKEMA KERJA

1. proses pencampuran cat epoxy dengan penambahan pelarut



**Gambar 1** Diagram Alir Proses Pencampuran Cat Epoxy dengan Penambahan Pelarut

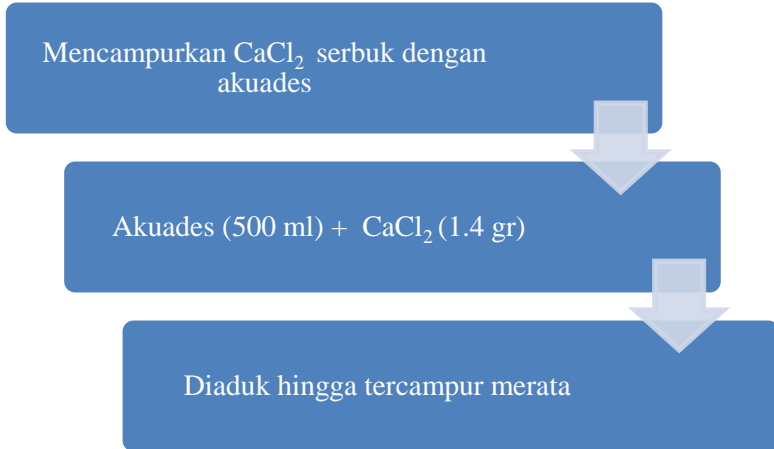
2. Proses pencampuran cat polyurethane, pigmen, dan pelarut



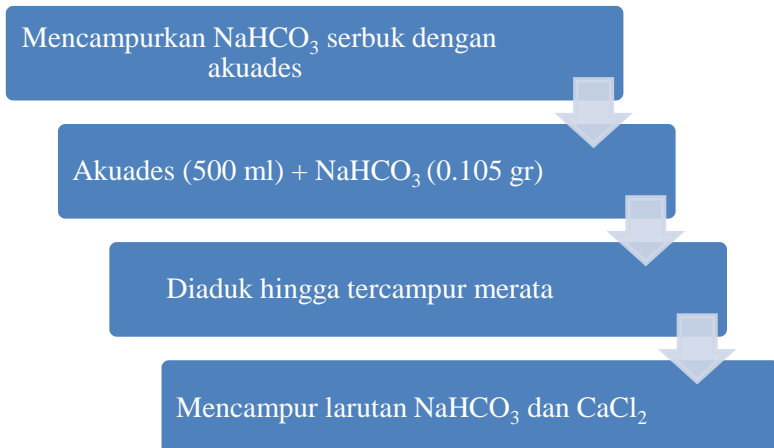
**Gambar 2** Diagram Alir Proses Pencampuran Cat Polyurethane dengan penambahan pelarut dan pigmen



3. Proses pembuatan larutan elektrolit  $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$  0.0025M



**Gambar 3** Diagram Alir Proses Pembuatan elektrolit  $\text{CaCl}_2$  0.0025 M



**Gambar 4** Diagram Alir Proses Pembuatan Larutan Elektrolit  $\text{NaHCO}_3/\text{CaCl}_2$



## **LAMPIRAN**

### **KOMPOSISI PENAMBAHAN PELARUT**

Perhitungan *Wet Film Thickness* (WFT) berdasarkan *Dry Film Thickness* (DFT) yang diinginkan:

\*Dengan penambahan pelarut

$$WFT = \frac{(Dry\ film\ thickness) \times (100 + percent\ pelarut)}{percent\ solids\ by\ volume}$$

Dimana :

*Percent solids* didapatkan dari TDS (Technical Data Sheet) produk cat penguard primer (51%) dan Hardtop XP (63%)



**LAMPIRAN**  
**HASIL PENGUJIAN DFT**

**Tabel 1** Hasil pengujian DFT pada specimen immers

Karakterisasi	Kode	WFT epoksi	DFT epoksi	DFT	WFT PU	DFT PU	DFT
Immers	A01	100 – 120	92.5 ; 88.1 ; 84.4	88.3	50 – 100	201 ; 207 ; 191	199
	A02		120 ; 108 ; 86.5	104		177 ; 163 ; 144	161
	A03		81 ; 82.4 ; 73	78.8		198 ; 172 ; 152	174
Immers (1:1)	A11	100 – 120	80.7 ; 79.5 ; 86.9	82.3	50 – 100	146 ; 171 ; 152	156
	A12		80.8 ; 86.8 ; 77.2	81.6		141 ; 108 ; 160	136
	A13		95.2 ; 96.5 ; 112	101		198 ; 189 ; 203	196



*Laporan Tugas Akhir*  
*Departemen Teknik Material FTI-ITS*

Immers (1:3)	A21	100 – 120	92.8 ; 100 ; 97.6	96.8	50 – 100	210 ; 193 ; 193	198
	A22		78 ; 75.1 ; 68.4	73.8		159 ; 181 ; 166	168
	A23		76.1 ; 85.5 ; 78.7	80.1		151 ; 134 ; 155	146
Immers (1:5)	A31	100 – 120	94 ; 101 ; 94.9	96.6	50 - 100	219 ; 243 ; 247	236
	A32		88.2 ; 95.3 ; 106	95.5		186 ; 207 ; 188	193
	A33		70.2 ; 73.9 ; 81	75		191 ; 199 ; 176	188

**Tabel 2** Hasil pengujian DFT pada spesimen *pull off test*

Karakterisasi	Kode	WFT epoksi	DFT epoksi	DFT	WFT PU	DFT PU	DFT
Pull off	P01	100 – 120	84.8 ; 93.9 ; 95.7	91.3	50 – 100	165 ; 173	173



*Laporan Tugas Akhir*  
*Departemen Teknik Material FTI-ITS*

						; 182	
	P02		98.5 ; 112 ; 92.5	101		198 ; 210 ; 180	195
	P03		104 ; 92.7 ; 99.1	102		208 ; 155 ; 180	181
Pull off (1:1)	P11	100 – 120	84.3 ; 86.2 ; 89	86.5	50 - 100	159 ; 169 ; 157	161
	P12		82.4 ; 86.9 ; 84	84.4		160 ; 185 ; 136	160
	P13		77.1 ; 81.1 ; 81.6	79.9		125 ; 130 ; 159	138
Pull off (1:3)	P21	100 – 120	92.4 ; 75.8 ; 79.4	82.5	50 – 100	171 ; 160 ; 158	163
	P22		88 ; 73.7 ; 82.3	81.3		150 ; 156 ; 143	149





*Laporan Tugas Akhir*  
*Departemen Teknik Material FTI-ITS*

	P23		68.3 ; 73.6 ; 84.2	75.4		150 ; 152 ; 142	148
Pull off (1:5)	P31	100 – 120	81.3 ; 87.5 ; 71	79.9	50 - 100	180 ; 192 ; 166	179
	P32		87.3 ; 80 ; 89	85.4		210 ; 204 ; 192	202
	P33		82.1 ; 71.5 80.8	78.1		201 ; 216 ; 214	210

**Tabel 3** Hasil pengujian DFT pada spesimen uji fleksibilitas

Karakterisasi	Kode	WFT epoksi	DFT epoksi	DFT	WFT PU	DFT PU	DFT
Bending	B1	100 – 120	118 ; 86.2 ; 81	95	50 – 100	271 ; 169 ; 186	208
	B2 (1:1)		73.4 ; 71 ; 76.6	73.6		183 ; 216 ; 180	193
	B3 (1:3)		78.1 ; 81.8 ; 65.6	75.1		173 ; 156	156



*Laporan Tugas Akhir*  
*Departemen Teknik Material FTI-ITS*

						;	
	B4 (1:5)		115 ; 111 ; 93	106		141	
						190 ; 206 ; 172	189

**Tabel 4** Hasil pengujian DFT pada spesimen uji abrasif

Karakterisasi	Kode	WFT epoksi	DFT epoksi	DFT	WFT PU	DFT PU	DFT
Abrasiv	H1	100 – 120	89.1 ; 85.5 ; 83	85.8	50 - 100	211 ; 185 ; 174	190
	H2 (1:1)		75.7 ; 77.5 ; 79.9	77.7		175 ; 196 ; 170	180
	H3 (1:3)		96.7 ; 108 ; 93.4	99		151 ; 171 ; 134	152
	H4 (1:5)		94.6 ; 84.9 ; 90.1	89.8		174 ; 189 ; 169	177



**LAMPIRAN**  
**HASIL PENGUJIAN PULL OFF TEST**

**Tabel 1.** Hasil Pengujian Pull off Sebelum Proses Immers

NO	VARIASI PIGMEN	KODE	PRIMER	TOP	GLUE	Daya lekat (Mpa)
1	(0:0)	P01	42.99	0.00	57.01	10.76
		P02	51.9	0.00	48.10	12.02
		P03	50.86	0.00	49.14	10.63
		Rata- rata	48.58	0	51.42	11.14
2	(1:1)	P11	2.21	27.05	70.74	13.03
		P12	1.21	2.91	95.89	10.83
		P13	10.33	16.59	73.08	11.05
		Rata- rata	4.58	15.52	79.90	11.64
3	(3:1)	P21	34.32	0.00	65.68	11.63
		P22	0.00	0.26	99.74	13.28
		P23	16.54	1.60	81.87	10.56
		Rata- rata	16.95	0.62	82.43	11.82
4	(5:1)	P31	5.11	0.67	94.22	12.40
		P32	18.74	23.11	58.15	11.79
		P33	27.45	6.76	65.79	12.36
		Rata- rata	17.10	10.18	72.72	12.18



*Laporan Tugas Akhir*  
*Departemen Teknik Material FTI-ITS*

**Tabel 2. Hasil Pengujian Pull off Pasca Immers**

NO	VARIASI PIGMEN	KODE	PRIMER	TOP	GLUE	Daya lekat (Mpa)
1	(0:0)	P01	25.28	54.40	20.32	9.02
		P02	24.90	42.16	32.94	8.95
		P03	56.71	19.09	24.20	9.26
		Rata- rata	35.63	38.55	25.82	9.08
2	(1:1)	P11	38.59	4.77	56.64	7.31
		P12	39.01	22.46	38.53	7.48
		P13	44.49	11.87	43.64	10.56
		Rata- rata	40.70	13.03	46.27	8.45
3	(3:1)	P21	31.77	29.84	38.38	7.41
		P22	67.53	0.00	32.47	8.18
		P23	62.97	0.00	37.03	10.41
		Rata- rata	54.09	9.95	35.96	8.67
4	(5:1)	P31	11.82	0.00	88.18	7.15
		P32	46.69	0.00	53.31	10.04
		P33	25.22	0.00	74.78	7.74
		Rata- rata	27.91	0.00	72.09	8.31



## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Fariz Riza Prayoga. Lahir di Bontang pada tanggal 16 Juli 1996 dari ayah bernama alm. Bambang Sudjarot dan ibu bernama Evi Nurhariyani. Penulis adalah anak ketiga dari 3 bersaudara yang pernah menempuh Pendidikan di TK Yayasan Pupuk Kaltim Bontang, lalu SD-2 Yayasan Pupuk Kaltim Bontang, lalu SMP Yayasan Pupuk Kaltim Bontang, lalu SMA Yayasan Pupuk Kaltim Bontang dan melanjutkan Pendidikan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS melalui jalur PKM 2014.

Semasa kuliah, penulis aktif dalam berbagai kegiatan organisasi dan kepanitiaan di kampus antara lain staff departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa 2015/2016 dan staff ahli Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS 2016/2017, Koordinator Steering Comitte Kaderisasi HMMT FTI ITS pada tahun 2016/2017, Panitia Gerigi 2015 dan beberapa kepanitiaan pelatihan di kampus. Penulis juga mengikuti beberapa pelatihan seperti Pelatihan Jurnalistik Tingkat Dasar, Pelatihan Manajemen Organisasi HMMT ITS, Pelatihan LKMM TD, Pelatihan Elemen Pengkader ITS dan pelatihan lainnya yang diselenggarakan di kampus. Penulis juga pernah melakukan kerja praktik di Astra Honda Motor selama satu bulan.

Tugas akhir yang diambil penulis dalam korosi dan analisa kegagalan yaitu “Pengaruh Variasi Zinc – Graphite sebagai Pigmen Pelapisan Epoxy pada Baja ASTM A36 terhadap Ketahanan Fouling di Lingkungan Geothermal”. Kontak penulis yang bisa dihubungi adalah 082157330692, dan email: farizaprayoga@gmail.com



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*